

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA DE SERIGRAFÍA NEUMÁTICA  
PARA SUPERFICIES PLANAS DE FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO".

LUIS ANDRÉS LAGUNA ERAZO.

VÍCTOR HUGO LOACHAMÍN NAVARRETE.

TESIS DE GRADO.

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.

Riobamba - Ecuador.

2009

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Justificación técnico-económica .	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1 General	5
1.3.2 Específicos	5
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	6
2.1. Introducción	6
2.2. Descripción de los elementos fundamentales usados	6
2.2.1 Mesa de impresión	6
2.2.2 Marco de madera	7
2.2.3 Dimensiones del marco	7
2.2.4 Ráele	8
2.2.5 Área de .impresión	9
2.3. Movimientos en el proceso de impresión	10
2.4. Tiempos requeridos	13
3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	14
3 1. Alternativas de cargado	14
3.1.1 Alternativa 1	15
3.1.2 Alternativa 2	16
3.1.3 Selección de la mejor alternativa	16
3.2. Alternativas de impresión	17
3.2.1 Alternativa 1	18
3.2.2 Alternativa 2	19
3.2.3 Selección de la mejor alternativa	20
3.3. Alternativas de posicionamiento y sujeción	20

3.3.1	Alternativa 1	20
3.3.2	Alternativa 2	21
3.3.3	Selección de la mejor alternativa	21
3.4.*	Alternativas de posicionamiento del marco	22
3.4.1	Alternativa 1	22
3.4.2	Alternativa 2	23
3.4.3	Selección de la mejor alternativa	23
3.5.	Alternativas para el desplazamiento horizontal	23
3.5.1	Alternativa 1	24
3.5.2	Alternativa 2	24
3.5.3	Selección de la mejor alternativa	25
4	PARÁMETROS DE DISEÑO	26
4.1	Parámetros geométricos	26
4.1.1	Carrera horizontal del ráele y cargador	26
4.1.2	Carrera vertical del marco	27
4.2.	Parámetros físicos	29
4.2.1	Presión del ráele	29
4.3.	Parámetros funcionales	32
4.3.1	Primer movimiento	33
4.3.2	Segundo movimiento	34
4.3.3	Tercer movimiento	35
4.3.4	Cuarto movimiento	35
4.3.5	Quinto movimiento	36
4.3.6	Sexto movimiento	37
4.3.7	Séptimo movimiento	38
5	DISEÑO Y SELECCIÓN DE PARTES	39
5.1.	Diseño mecánico	39
5.1.1	Diseño de elementos del dispositivo de impresión	39
5.1.2	Diseño de partes del mecanismo de posicionamiento	60

5.1.3	Dimensionamiento de los bujes de desplazamiento	84
5.1.4	Diseño del sistema de elevación de la mesa móvil	90
5.1.5	Diseño de la estructura de la mesa principal	96
5.2.	Diseño del sistema neumático	99
5.2.1	Requerimientos físicos para proyectar el sistema	100
5.2.2	Representación esquemática del sistema neumático	101
5.2.3	Selección de los actuadores neumáticos	103
5.2.4	Selección de los accionadores neumáticos	106
5.2.5	Selección de la unidad técnica de mantenimiento	110
5.2.6	Selección de los reguladores de caudal	110
5.2.7	Selección de los conectares	111
5.2.8	Selección de las mangueras	111
5.2.9	Selección del compresor	112
5.2.10	Dimensionamiento del tanque	113
53.	Diseño electrónico	114
5.3.1	Fuente de alimentación	114
5.3.2	Circuito de control de las válvulas neumáticas	115
5.3.3	Circuito de control del motor de paso	116
5.3.4	Circuito de control del motor de cc.	117
5.3.5	Circuito de visualización del lcd 16x2 (azul)	117
5.3.6	Microcontroladores	118
5.3.7	Programación del microcontrolador	119
6	CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y MANTENIMIENTO	120
6.1.	Tecnología en la construcción de la impresora	120
6.1.1	Procedimiento de construcción	121
6.1.2	Operaciones tecnológicas ejecutadas	124
6.1.3	Flujograma de operaciones tecnológicas	127
6.2.	Montaje de la impresora	130
6.3.	Flujograma de montaje	134

6.4.	Secuencia de operación	134
6.5.	Seguridad	136
6.6.	Mantenimiento	136
6.6.1	Inspección diaria	137
6.6.2	Inspección semanal	137
6.6.3	Inspección mensual	137
7.	COSTOS.	138
7.1.	Costos directos	138
7.2.	Costos indirectos	142
7.3.	Costos de producción	142
7.4	Análisis de costos	143
8	PRUEBAS Y RESULTADOS	149
8.1.	Plan de pruebas	149
8.1.1	Tiempos y movimientos de la impresora	149
8.1.2	Tiempos de programación vs tiempos de impresión	151
8.1.3	Cantidad de tinta versus número de impresiones	152
8.1.4	Pruebas cualitativas de impresión	154
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
9.1	Conclusiones	156
9.2.	Recomendaciones	159

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES.**

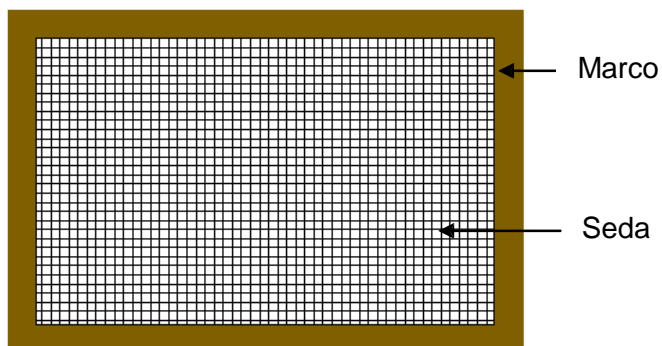
La Industria Serigráfica en el Ecuador es una de las más prósperas y se impone a otras técnicas de publicidad por sus altos beneficios en calidad, costo y nitidez. Este sistema de estampado presenta pocas limitaciones cuando se trata de elegir la superficie sobre la que se desea reproducir el dibujo.

El número de colores que intervienen en el gráfico que se desea copiar están en función del número de tamices, por ende cada color es impreso con un tamiz diferente.

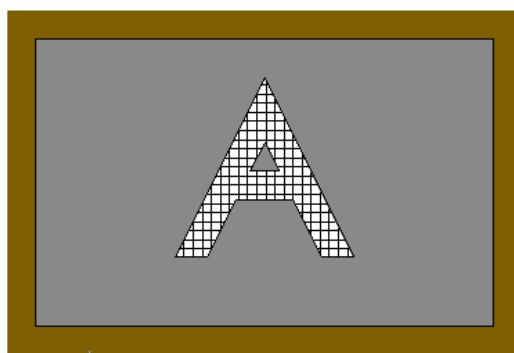
Las aplicaciones más comunes son: el estampado sobre papel, vidrio, cartón, madera, corcho, plásticos, cuero y cerámica, que requieren únicamente una adecuada preparación de la tinta.

La serigrafía es un proceso que consiste en obtener, sobre un tamiz o malla tensada en un bastidor, la forma del gráfico que se desea estampar (Fig.1). Esto se logra obturando las partes de la malla que así lo requieran (Fig.2), con un

químico endurecedor sensible a la luz.



**Figura 1.1. Malla tensada en el bastidor.**

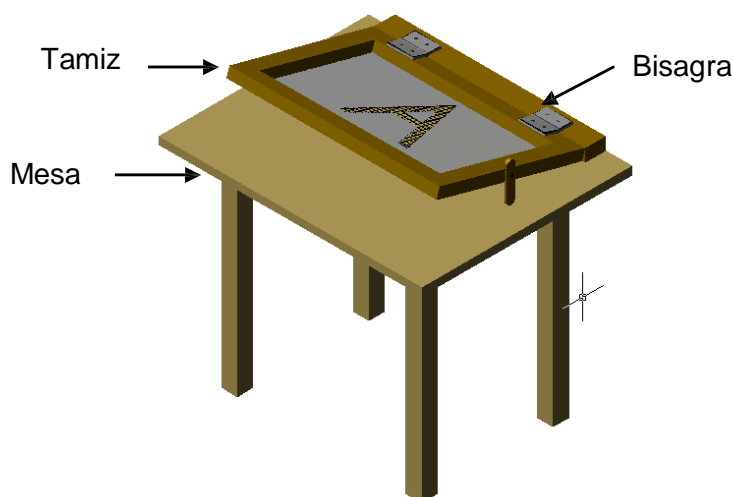


**Figura 1.2. Obturación de la malla para obtener la forma del gráfico.**

A continuación, el marco se acopla por medio de bisagras a una mesa lo suficientemente rígida para que la impresión se realice sin ninguna dificultad. Generalmente, el acople se lo realiza utilizando un mecanismo que permite el movimiento angular, en este caso las bisagras (Fig.1.3).

Una vez colocado el bastidor se vierte una cantidad adecuada de tinta sobre la malla (con el formato adecuado fijo sobre la mesa), para luego bajar y posicionar el bastidor a una distancia recomendada entre 1 a 3 milímetros de la superficie a

imprimir. Este dato de distancia es empírico y basado más bien en la experiencia de los artesanos dedicados a esta actividad.



**Figura 1.3. Ubicación del marco.**

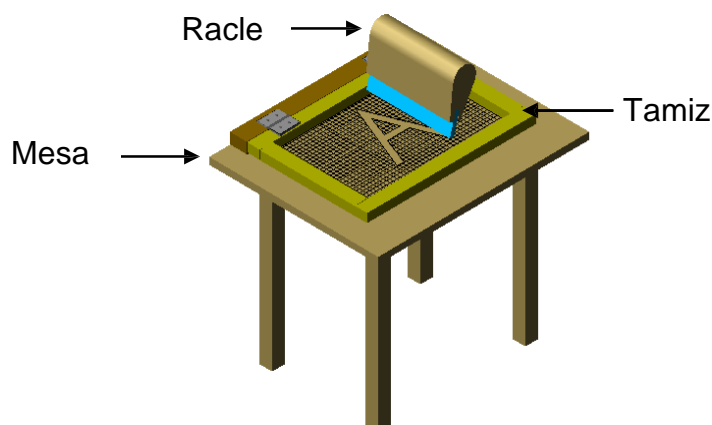
El siguiente paso es distribuir la tinta en forma uniforme sobre toda la malla (proceso de carga de tinta), para luego obligar, mediante presión, a lo largo y ancho del tamiz a que la tinta pase al otro lado de la malla, por los espacios vacíos e imprima el dibujo sobre el formato (proceso de impresión). El movimiento se lo realiza utilizando un *racle* (Fig.1.4), que consiste en un mango, agarradera o empuñadura de madera o metal en el que se inserta una hoja de caucho o material sintético que tiene diferentes grados de flexibilidad, según el trabajo a realizar.

Tal proceso debe repetirse tantas veces como impresiones se deseen realizar.

La alimentación de la tinta depende del área del dibujo, de grado de la seda y de la fuerza de tensado de la seda sobre el marco, de acuerdo a esto, la alimentación de la tinta se realiza cuando el volumen de tinta sobre la seda no es



suficiente para cubrir uniformemente toda el área de impresión.



**Figura 1.4. Proceso de impresión.**

## **1.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA.**

El proceso de impresión serigráfica realizado por un artesano, presenta muchas limitaciones cuando se trata de estampar gráficos en grandes cantidades, siendo una de las principales el excesivo tiempo empleado en el cargado e impresión. El operario o artesano con una máquina impresora de serigrafía tendrá la oportunidad de sustituir el proceso artesanal por uno más técnico y efectivo que le permitirá optimizar el trabajo, mejorar su servicio, elevar su ingreso económico y en consecuencia mejorar su calidad de vida.

El uso de un sistema neumático es el más adecuado, ya que en el ciclo de impresión no se requieren grandes fuerzas y además presenta muchas bondades en el momento de automatizar el proceso.

El sistema de control se lo realizará por medio de *micro controladores*, debido a la

bondad en la diversidad de usos y bajos costos que representan.

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 GENERAL.**

Diseñar y construir una impresora de serigrafía neumática para superficies planas de funcionamiento automático.

#### **1.3.2 ESPECÍFICOS.**

- Establecer la secuencia de movimientos del proceso de estampado serigráfico.
- Analizar los procesos incluidos en el proyecto.
- Analizar las alternativas para el diseño.
- Investigar los parámetros de diseño necesarios.
- Diseñar los diferentes elementos y sistemas de la impresora de serigrafía.
- Construir la impresora de serigrafía
- Instalar y realizar las pruebas que determinen la eficiencia de funcionamiento, la calidad de la impresión y la productividad de la máquina

## **CAPÍTULO II**

### **2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y ELEMENTOS EN LA SERIGRAFÍA ARTESANAL.**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN.**

El proceso de serigrafía artesanal se realiza mediante una serie de pasos ordenados en los que interactúan el equipo disponible en conjunto con la habilidad del trabajador; por tal motivo, partimos del análisis de los aspectos que intervienen en dicha interacción.

#### **2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS FUNDAMENTALES USADOS EN EL PROCESO DE SERIGRAFÍA MANUAL.**

##### **2.2.1 MESA DE IMPRESIÓN.**

La mesa es uno de los elementos de mayor importancia en la serigrafía. Es la superficie sobre la que se coloca el objeto a imprimir, sus dimensiones deben estar de acuerdo con el trabajo a desarrollar, su tamaño no tendrá que exceder en 30cm. por cada lado, a partir de los bordes del marco a usarse [9].

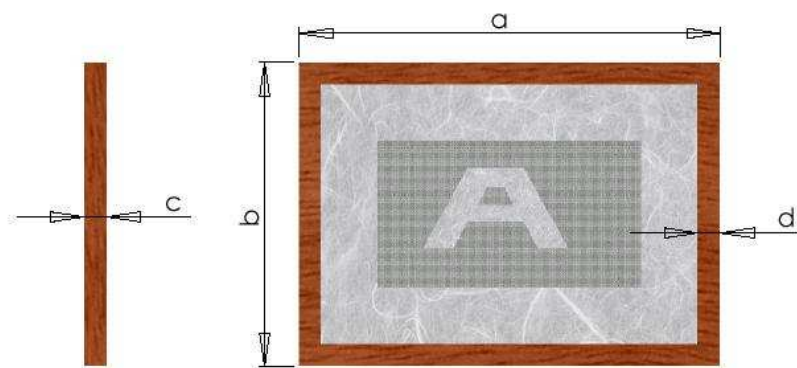
La mesa deberá estar situada de manera que reciba buena luminosidad. La altura recomendada es aproximadamente de 75cm, para que se pueda trabajar con cierta comodidad y sin tener que forzar mucho la espalda del operador.

### 2.2.2 MARCO DE MADERA.

La finalidad del marco es mantener rígida la seda, la seda es un material mallado que se tensa en un marco de madera para dejar constituido el tamiz. Los marcos se fabrican de madera o metal. Para el caso se requieren marcos de madera (Fig.2.1), debido a que según encuestas realizadas en el sector artesanal, son de su mayor preferencia, ya que se los adquiere fácilmente y también prestan mayor facilidad para montar la seda.

### 2.2.3 DIMENSIONES DEL MARCO.

Las dimensiones de los marcos que se presentan a continuación son los de uso más frecuente. Estas medidas son las más adecuadas en la serigrafía artesanal (Fig. 2.1).



**Figura 2.1. Dimensiones del marco de madera.**

En la Tabla 1.1, se indican las dimensiones más comunes de marcos, de la cual se selecciona el marco número 1, porque así se pueden adaptar para el trabajo marcos de menor dimensión, es decir los restantes.

El peso del marco es de 1,8 Kg.

**TABLA 2.1. DIMENSIONES DE LOS MARCOS MÁS USADOS.**

<b>Dimensiones</b>	<b>a</b>	<b>B</b>	<b>c</b>	<b>D</b>
<b>Marco # 1</b>	75,0	55,0	4,0	4,0
<b>Marco # 2</b>	60,0	50,0	4,0	4,0
<b>Marco # 3</b>	58,0	51,5	4,0	4,5
<b>Marco # 4</b>	58,0	50,0	4,0	4,0
<b>Marco # 5</b>	60,0	40,0	4,0	4,0

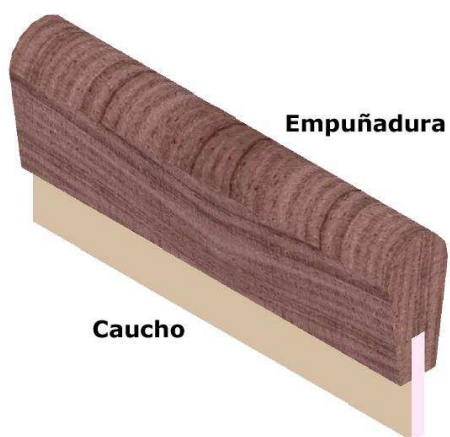
#### **2.2.4 RACLE.**

La hoja de caucho de mayor uso es rectangular, ligeramente redondeado en los cantos, para evitar daños en la seda.

El *caucho* se adquiere de acuerdo a las medidas del dibujo a imprimir y tiene que ser resistente, porque se expone a la acción química de tintas y disolventes y al desgaste natural producido por la fricción con el tamiz.

El caucho más utilizado en serigrafía es el caucho sintético, porque es más resistente que el caucho natural.

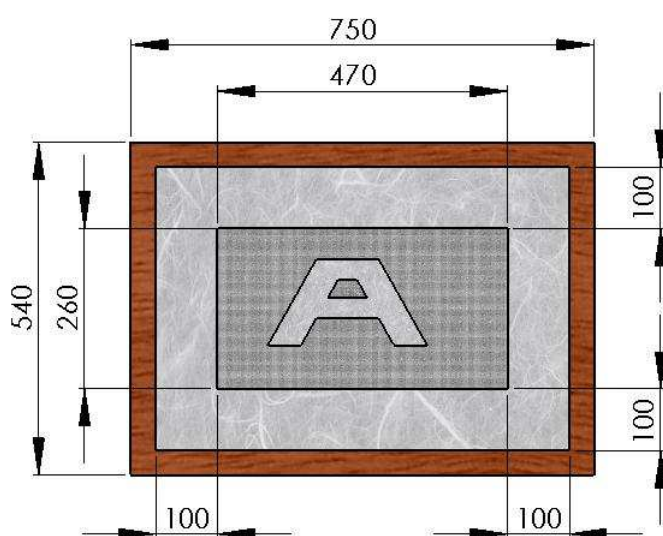
La longitud del *racle* que se utiliza con el marco de mayores dimensiones es de 30cm., pues el ancho de la máxima área de impresión es 26 cm (Fig.2.1).



**Figura 2.2. Racle.**

### 2.2.5 ÁREA DE IMPRESIÓN.

El área de impresión recomendada debe estar a 10cm. o 15cm. de cada lado, medidos desde los bordes interiores del marco [10].



**Figura 2.3. Área de impresión efectiva.**

En el presente caso se tomará 10cm a cada lado, para poder obtener la máxima área de impresión en el marco a usarse.

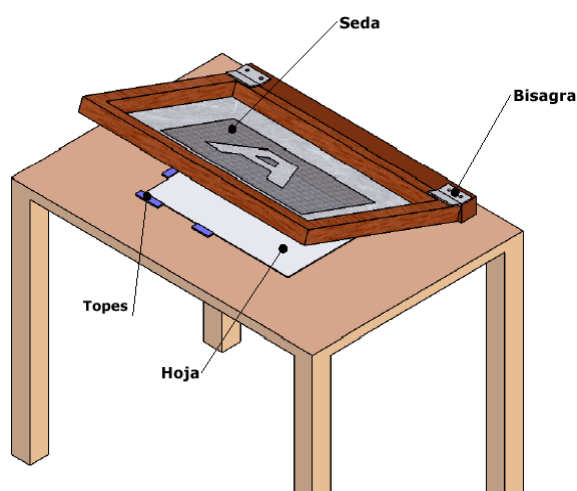
Por lo tanto en la Fig. 2.3, el área efectiva de impresión es de 47cm. x 26cm.

### **2.3. MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN.**

Según lo observado en la práctica, el proceso de serigrafía manual se lo realiza en 6 movimientos fundamentales que son:

#### **a. POSICIONAMIENTO DEL PAPEL EN LA MESA.**

El primer paso consiste en posicionar sobre la mesa, de forma correcta y firme, el papel o superficie sobre la cual se realizará la impresión del dibujo o gráfico. Para ello, los artesanos dedicados a la serigrafía usan topes adhesivos, dependiendo de la forma geométrica de la superficie para posicionar el papel. Luego para sostener el formato sobre la mesa se disipa adhesivo líquido, como se indica en la Fig. 2.4.



**Figura 2.4. Sistema de serigrafía artesanal.**

### **b. DISTRIBUCIÓN DE LA TINTA EN LA SEDA (CARGADO).**

El proceso de cargado consiste en la distribución uniforme de una cantidad parcial de tinta que en un inicio se encuentra acumulada a un lado del marco, dosificando así la cantidad de tinta que pasará hacia el formato en el momento de la impresión, esta distribución se la realiza con el racle sobre toda el área de impresión, en la cual se encuentra el dibujo a imprimir. La presión que el racle ejerce sobre la seda es mucho menor a la que se utiliza en el proceso de impresión manual, ya que la tarea a realizar es únicamente de distribución de la tinta sobre el dibujo revelado en el tamiz.

El proceso de cargado manual debe realizarse cuando el marco se encuentre separado del formato, debido a que la presión ejercida puede hacer pasar cantidades pequeñas de tinta no deseadas hacia la hoja.

### **c. POSICIONAMIENTO DEL MARCO SOBRE EL PAPEL.**

Como se indica en el primer capítulo Fig.1.3, el marco utilizado en serigrafía artesanal tiene dos bisagras en un lado, lo cual permite manejar dos posiciones fundamentales del marco como son: inclinado y horizontal. Cabe anotar que el tamiz no está en contacto físico con el papel, la separación que hay del papel a la seda varían de 2mm a 2.5mm, dependiendo del tipo de impresión que se realice y de la seda utilizada.

El posicionamiento del marco sobre el papel sucede cuando el marco pasa de la posición inclinada a la posición horizontal. El marco se encuentra paralelo a la



hoja o superficie sobre la cual se imprimirá.

#### **d. PROCESO DE IMPRESIÓN.**

Este paso es el más importante en la serigrafía. Aquí es donde el dibujo revelado sobre la seda se imprimirá sobre papel, vidrio u otra superficie, cuando la tinta que se encuentra inicialmente distribuida sobre la seda, es obligada a pasar al lado inferior de ésta y a impregnarse sobre la superficie, quedando el dibujo impreso. La presión ejercida por el racle debe ser suficiente para realizar una impresión de buena calidad.

Factores importantes que influyen en la presión aplicada son: la fuerza de tensión de la seda respecto al marco, la numeración de la seda (tamaño de grano) y la distancia que existe entre el papel y la seda [10].

#### **e. RETIRO DEL MARCO.**

En éste paso, se vuelve el marco de la posición horizontal y paralelo al papel, a una posición inclinada o separada, para poder retirar con facilidad el objeto impreso de la mesa. Así es como se procede en el proceso artesanal de serigrafía.

#### **f. RETIRO DEL PAPEL.**

El último paso consiste en retirar el papel cuidadosamente para no dañar el dibujo

impreso ya que la tinta aún se encuentra fresca y puede manchar la hoja.

El papel retirado debe ir a un proceso de secado, el cual, dependiendo de la calidad de la tinta, se lo realizará al aire libre o en hornos.

## 2.4. TIEMPOS REQUERIDOS.

Los tiempos que intervienen en un ciclo de impresión fueron tomados experimentalmente en un taller de serigrafía artesanal y se muestran en la Tabla 2.2, de donde se puede concluir que el paso dos ocupa más tiempo.

**TABLA 2.2 TOMA DE TIEMPOS.**

Movimientos	Tiempos (seg.)				Promedio (seg.)
	1	2	3	4	
<b>Paso # 1</b>	4,1	4,5	4,0	3,8	4,1
<b>Paso # 2</b>	5,6	5,1	5,8	5,7	5,6
<b>Paso # 3</b>	2,0	1,9	2,1	1,8	2,0
<b>Paso # 4</b>	1,5	1,6	1,8	2,0	1,7
<b>Paso # 5</b>	1,3	1,1	1,2	1,4	1,3
<b>Paso # 6</b>	3,5	3,1	3,0	2,8	3,1
<b>Tiempo total</b>					<b>17,7</b>

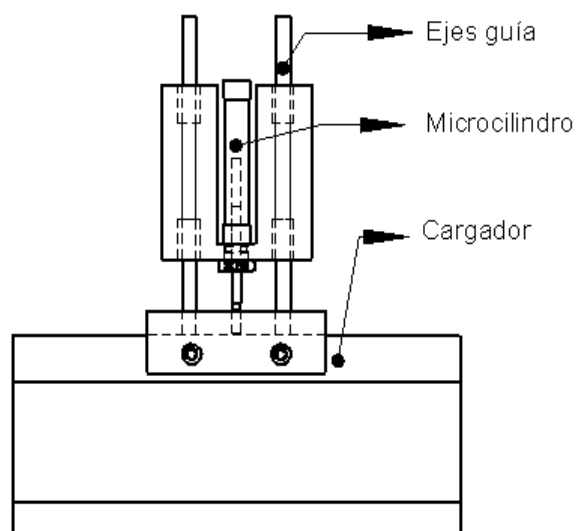
Los tiempos anteriormente mencionados pueden variar, dependiendo de la experiencia del artesano y su habilidad. Y fueron analizados considerando el trabajo de un artesano que tiene muchos años de experiencia en la serigrafía. El objetivo principal de este proyecto es mejorar sustancialmente los tiempos de impresión.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.

#### 3.1. ALTERNATIVAS DE CARGADO.

La impresora empleará un sistema neumático, por lo cual para el cargado se usará un microcilindro acompañado de un dispositivo antigiro como se indica en la Fig.3.1, esto permite que el cargador se mantenga siempre en una posición perpendicular a la trayectoria.



**Figura 3.1. Microcilindro con dispositivo antigiro.**

El proceso de cargado es un paso muy importante en la impresión por serigrafía.

Consiste en controlar el espesor de la capa de tinta que se encuentra sobre el tamiz, que en el proceso de serigrafía artesanal es realizado por el mismo racle.

### **3.1.1 ALTERNATIVA 1.**

Como primera alternativa se puede usar el mismo racle, pero con una presión menor sobre la seda. Esto consistiría en una reproducción del método usado artesanalmente.

#### **3.1.1.1 Ventajas:**

- Ahorro de dinero en el diseño y construcción de un segundo elemento para distribuir la tinta (cargado).
- Al utilizar el racle para cargar e imprimir se dispondría de mayor área para imprimir.

#### **3.1.1.2 Desventajas:**

- Al utilizar un cilindro neumático para implementar la alternativa 1, se puede tener dificultades al momento de regular la carrera, que es diferente, para la impresión y el cargado en aproximadamente 2 mm.
- Se dificulta la implementación de un mecanismo que permita realizar dos tareas con un mismo elemento.
- Otro inconveniente sería la separación de una porción de tinta a utilizarse en el cargado.

### **3.1.2 ALTERNATIVA 2.**

Como segunda alternativa, se considera la utilización de un segundo racle para realizar el cargado; éste deberá tener características similares al racle principal y satisfacer adecuadamente las necesidades de distribución de la tinta.

#### **3.1.2.1 Ventajas:**

- Al utilizar dos cilindros neumáticos para la implementación de éste sistema (alternativa 2), la regulación de la presión necesaria es precisa para los procesos de impresión y distribución de la tinta (cargado), ya que cada uno será desarrollado por un mecanismo independiente.
- La máquina podría optimizar el tiempo al momento de sincronizar los movimientos de cada elemento (racle y cargador).
- El cargador debido a su movimiento independiente tendría facilidad para separar una porción de tinta en cada ciclo de impresión.

#### **3.1.2.2 Desventajas:**

- La utilización de un segundo elemento como cargador implica un gasto adicional en el diseño y construcción de la máquina.

### **3.1.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

De las ventajas y desventajas de las alternativas que se mencionan se decide que: para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto, el mecanismo a

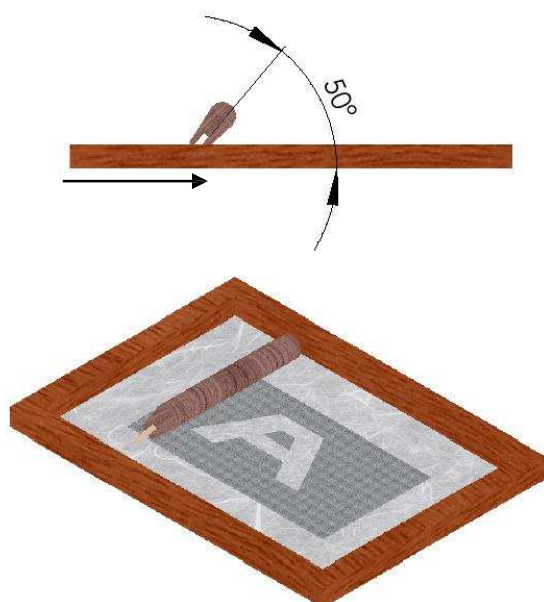
diseñar y construir deberá proyectarse de manera que la impresión y el cargado se realice con elementos distintos (racle y cargador).

### 3.2. ALTERNATIVAS DE IMPRESIÓN [9][10].

Al igual que en el cargado, en la impresión también se requiere un dispositivo antigiro.

El racle debe ser de 2,5 a 3 centímetros más largo que el ancho de la impresión, pues, si fuese más pequeño serían necesarias dos pasadas para cubrir el formato lo que produciría inevitablemente una desagradable superposición en el centro del impreso. Además, los extremos del racle deben ser redondeados para no dañar el tejido con el canto vivo.

El filo del caucho no debe tener muescas ni cortes, pues éstos determinarían un rayado en blanco, sin dejar tinta en la impresión.



**Figura 3.2. Inclinación del racle.**

En el momento del tiraje (proceso de impresión) el racle se lo mantiene inclinado en la dirección de la pasada. La inclinación debe mantenerse constante y en un valor recomendado de 50 grados (Fig.3.2) [10].

El ritmo de impresión en el tiraje debe ser uniforme y constante y podrá ser juzgado viendo en cada pasada la calidad de la impresión.

### **3.2.1 ALTERNATIVA 1.**

Como primera alternativa, se reproducirá exactamente el proceso artesanal de serigrafía, usando el racle en forma inclinada a 50 grados en la dirección de la pasada, tal y como se indica en la Fig.3.2.

#### **3.2.1.1 Ventajas:**

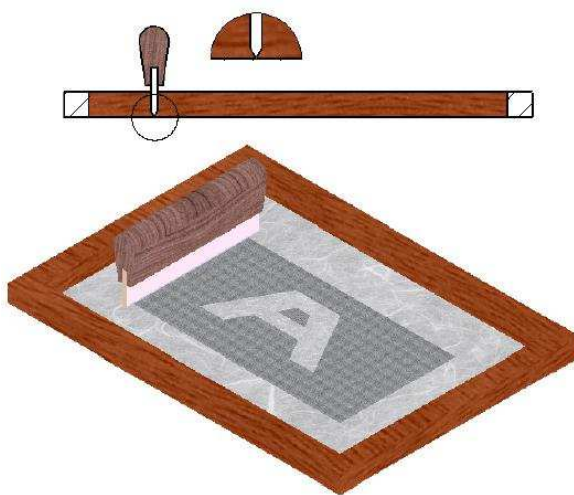
- La impresión tendría el mismo efecto de calidad a la que se obtiene en la serigrafía artesanal.

#### **3.2.1.2 Desventajas:**

- Dificultad en la sujeción de la empuñadura.
- Debido al ángulo de inclinación se podría tener problemas al momento de insertar el cargador, el cual debe ir muy cerca del punto de contacto, entre el caucho y la seda.
- Al colocar el racle en forma inclinada, implicaría que entre éste y el cargador se ocuparía un mayor espacio.

### 3.2.2 ALTERNATIVA 2.

Como segunda alternativa, se puede considerar la posición totalmente vertical del racle (Fig.3.3), esto implicaría la creación de un filo con un ángulo apropiado en el caucho, lo que no representaría ningún problema ya que en el mercado ecuatoriano podemos encontrar varias medidas y modelos de caucho con éste tipo de filo para el uso en máquinas manuales.



**Figura 3.3. Posición vertical del racle.**

#### 3.2.2.1 Ventajas:

- La sujeción de la empuñadura sería más cómoda.
- Se reduce al máximo la distancia entre el racle y el cargador.

#### 3.2.2.2 Desventajas:

- El ángulo de filo del caucho determinará la calidad de la impresión, el cual será correctamente determinado en las pruebas de funcionamiento.



### **3.2.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

De las alternativas expuestas resulta la más adecuada la N ° 2, porque facilita la sujeción del racle en forma firme e implica un bajo costo de construcción, y reduce la distancia entre el racle y el cargador.

### **3.3. ALTERNATIVAS DE POSICIONAMIENTO Y SUJECIÓN DEL PAPEL.**

El papel debe ser sujetado y posicionado correctamente para que reciba la impresión. La sujeción debe ser uniforme en toda la superficie del papel, sobre todo cuando el tamiz es levantado ya que el papel puede quedar pegado en la seda por acción de la tinta.

#### **3.3.1 ALTERNATIVA 1.**

Como primera alternativa de sujeción se puede utilizar el método empleado en la impresión artesanal. El cual consiste en verter una pequeña cantidad de adhesivo líquido sobre la mesa, permitiendo una adición temporal de la hoja.

##### **3.3.1.1 Ventajas:**

- El operario se encuentra familiarizado con éste proceso.

##### **3.3.1.2 Desventajas:**

- El adhesivo líquido dura un cierto número de ciclos de impresión por lo cual

podría gastar tiempo valioso al momento de renovarlo.

- Hay un tiempo que se puede economizar al pegar y despegar los formatos ya que al retirarlos, se debe hacerlo con cuidado para no dañar la hoja.

### **3.3.2 ALTERNATIVA 2.**

Como alternativa 2 se puede usar un sistema de succión por medio de una bomba de vacío y orificios correctamente dimensionados y posicionados en la mesa.

#### **3.3.2.1 Ventajas:**

- Se tiene total control en el momento de la adherencia del papel a la mesa y retiro del impreso de la misma.
- El proceso es totalmente continuo. No existen interrupciones a lo largo de todo del ciclo de impresión.

#### **3.3.2.2 Desventajas:**

- Su diseño y construcción implica el uso de un sistema neumático el cual implica un costo elevado.

### **3.3.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

La alternativa elegida es la número 2, que proporciona mayor rapidez al momento de posicionar y retirar el formato.

### **3.4. ALTERNATIVAS DE POSICIONAMIENTO DEL MARCO.**

En el posicionamiento del marco se debe tomar en cuenta algunos aspectos importantes, como son: rigidez del marco adecuada en todas las impresiones que se realicen, facilidad y rapidez en el posicionamiento; y una distancia siempre constante entre la seda y la mesa para todas las impresiones a realizar.

#### **3.4.1 ALTERNATIVA 1.**

La primera alternativa puede ser similar a la utilizada en la forma artesanal, la cual consiste en posicionar el marco que inicialmente se encuentra inclinado para luego ubicarlo paralelo a la mesa de impresión.

Esto implica el uso de bisagras para lograr el movimiento rotatorio del marco.

##### **3.4.1.1 Ventajas:**

- El operario está familiarizado con el proceso que implica un alto grado de habilidad.

##### **3.4.1.2 Desventajas:**

- Después de cada impresión la tinta se desplaza en dirección al eje de rotación lo cual consume un tiempo en su recolección.
- Con éste tipo de diseño se limita el trabajo a superficies planas y formatos delgados.

### **3.4.2 ALTERNATIVA 2.**

Si se desea que el marco siempre esté paralelo a la mesa, se debe considerar el uso de guías, las cuales permitan el desplazamiento del marco de una posición superior a una posición inferior sobre el papel.

#### **3.4.2.1 Ventajas:**

- Mejor control de la tinta sobre la seda.
- El mecanismo es mucho más sencillo ya que tiene un grado de libertad.

#### **3.4.2.2 Desventajas:**

- La implementación de un mecanismo de éstas características implicaría un costo más elevado que la alternativa 1.

### **3.4.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

Seleccionamos el mecanismo que sugiere la alternativa 2, el cual permite que el marco siempre permanezca paralelo a la mesa de impresión.

## **3.5. ALTERNATIVAS PARA EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL RACLE Y EL CARGADOR.**

El desplazamiento horizontal del cargador y el racle permite realizar las acciones

de distribución de la tinta e impresión alternativamente. El movimiento debe ser continuo, realizado con una velocidad y fuerza adecuada, para obtener una buena calidad en la impresión.

### **3.5.1 ALTERNATIVA 1.**

Una opción a considerar es la utilización de un cilindro neumático sin vástago, el cual tiene un diseño especial que permite el desplazamiento horizontal sin la necesidad de un elemento exterior para la ejecución del movimiento.

#### **3.5.1.1 Ventajas:**

- Movimiento continuo a lo largo de su carrera.
- Control adecuado de la velocidad del actuador (válvulas reguladoras).
- Facilidad en el montaje.
- Control adecuado por medio de una válvula distribuidora.

#### **3.5.1.2 Desventajas:**

- Este tipo de cilindros son excesivamente caros en el mercado ecuatoriano ya que su uso no es muy frecuente. Se lo puede adquirir solo bajo pedido.

### **3.5.2 ALTERNATIVA 2.**

Como segunda alternativa consideramos la utilización de un mecanismo piñón-

cremallera, que proporciona continuidad en el movimiento y una velocidad adecuada para el desplazamiento.

#### **3.5.2.1 Ventajas:**

- Costo de realización accesible.
- Adecuada transmisión de la fuerza necesaria.
- Control adecuado; ya que para la generación de la fuerza necesaria se empleará un motor de corriente continua, la inversión de giro se puede efectuar de manera sencilla.

#### **3.5.2.2 Desventajas:**

- La implementación de un mecanismo piñón – cremallera, requiere de otros elementos para su adaptación a la impresora.
- Existe un traqueteo propio del engranaje sobre todo cuando hay interferencia.

### **3.5.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

De las dos opciones expuestas anteriormente elegimos la segunda, por el costo de implementación y porque satisface los requerimientos de velocidad y continuidad del movimiento.

## CAPÍTULO IV

### 4. PARÁMETROS DE DISEÑO.

#### 4.1. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS.

Dentro de los parámetros geométricos se debe considerar esencialmente el área de impresión, pues esto determina y fija las variables.

##### 4.1.1 CARRERA HORIZONTAL DEL RACLE Y CARGADOR.

El área de impresión permite determinar el recorrido del mecanismo empleado en la ejecución del desplazamiento horizontal del racle y el cargador (Fig.4.1).

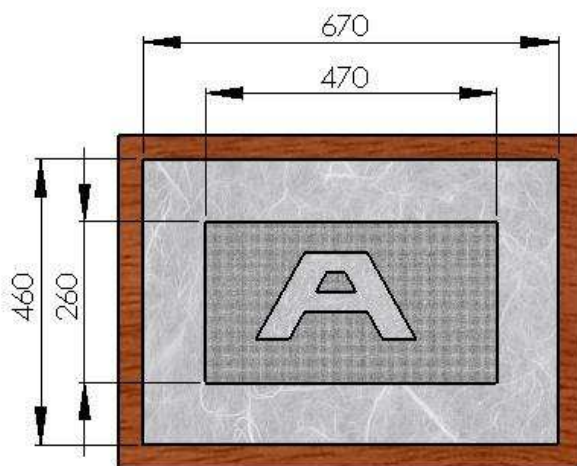


Figura 4.1. Dimensiones del área de impresión.

En la Tabla 4.1 se indica la carrera máxima disponible, cuya magnitud se encuentra restringida por las dimensiones internas del marco. Además, muestra la carrera efectiva del racle que depende del área de impresión.

**TABLA 4.1. CARRERA DISPONIBLE Y EFECTIVA.**

<b>Carrera</b>	<b>Dimensión(cm)</b>
Carrera disponible.	67
Carrera efectiva.	47

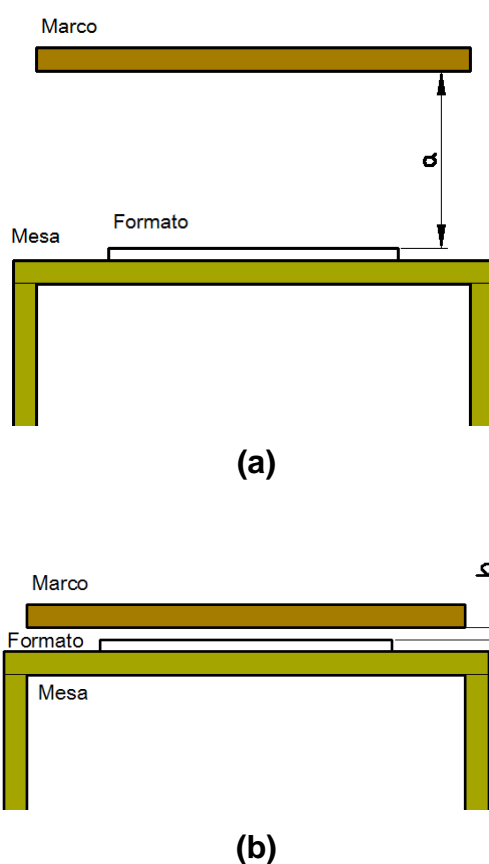
La carrera máxima del mecanismo empleado en la realización del desplazamiento horizontal del racle y el cargador debe ser de 67 cm, y como carrera mínima podemos considerar los 47 cm, si se ocupa toda el área de impresión disponible.

La carrera mínima está en función del dibujo a reproducir, por ejemplo: si el dibujo tiene una distancia longitudinal de 10 cm, se debe sumar 1 cm a cada lado para asegurar la calidad de impresión; por lo tanto, la distancia total será de 12 cm. La carrera mínima en el ejemplo es de 12 cm.

#### **4.1.2 CARRERA VERTICAL DEL MARCO.**

El marco debe tener un desplazamiento vertical el cual nos permite posicionar y retirar la hoja con facilidad, como se indica en la Fig.4.2-a, la distancia **a**, para el momento de la impresión el marco debe ubicarse a una distancia **b** del formato (Fig.4.2-b), que depende de las características del tamiz y de la calidad de impresión requerida.





**Figura 4.2. Posiciones 1 y 2 del marco con respecto a la hoja.**

En la Tabla 4.2, se sugiere los rangos de distancias que permiten realizar con facilidad y brevedad los procesos de posicionamiento y retiro de la hoja [9] [10].

**TABLA 4.2. RANGOS DE DISTANCIAS.**

Distancias	Rangos (cm)
<b>a</b>	25 a 40
<b>b</b>	0,2 a 0,25

Con los rangos de distancias extremas, que el marco debe desplazarse, se calcula los desplazamientos máximos y mínimos, los cuales se pueden observar en la Tabla 4.3.

**TABLA 4.3. RANGOS DE DISTANCIAS.**

Desplazamiento máximo	400 - 2 = 398 (mm)
Desplazamiento mínimo	250 - 5 = 245 (mm)

$$\text{Desplazamiento} = (a - b)$$

#### **4.1.2.1 DESPLAZAMIENTO.**

El desplazamiento vertical realizado por el marco, es la diferencia entre las distancias  $a$  y  $b$ . Desplazamiento que debe realizarse asegurando la posición horizontal del marco, sobre todo en el punto muerto inferior; pues la distancia entre la seda y la hoja es muy pequeña (2 mm. – 2, 5 mm.).

La magnitud del desplazamiento está directamente relacionada con la variación de las distancias  $a$  y  $b$ . De aquí, se deduce que el desplazamiento máximo sería de 398 mm y el desplazamiento mínimo 245 mm.

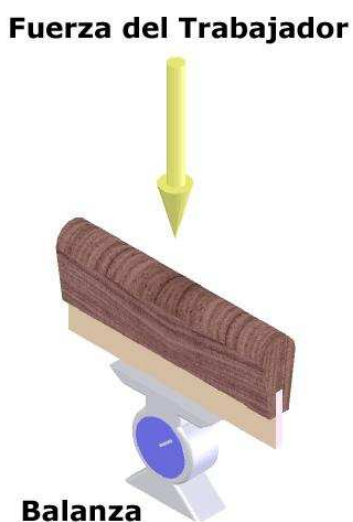
#### **4.2. PARÁMETROS FÍSICOS.**

La fuerza necesaria para realizar la impresión, es ejercida por el racle. Este parámetro es el más importante. La nitidez del gráfico está directamente relacionada con su magnitud y su determinación es más bien experimental.

##### **4.2.1 PRESIÓN DEL RACLE.**

Para determinar la carga necesaria sobre la seda en forma vertical, se mide la

fuerza que un operario ejerció por medio del racle para realizar la impresión sobre una balanza, como de indica en la Fig.4.3. Luego de realizar 5 ensayos los que se muestran en la Tabla 4.4, y se obtuvo un promedio de 3,5 lbs.



**Figura 4.3. Fuerza ejercida por el trabajador sobre la balanza.**

**TABLA 4.4. FUERZA EJERCIDA SOBRE EL RACLE**

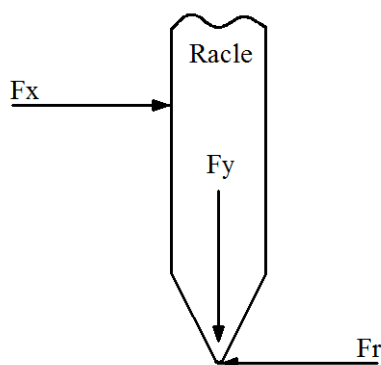
Interacción	Carga (lb)
1	3,5
2	3,7
3	3,4
4	3,4
5	3,5
<b>Promedio</b>	3,5

#### **4.2.1.1 FUERZA HORIZONTAL REQUERIDA.**

Si se da una mayoración del 100% a esta fuerza promedio, para cubrir cualquier tipo de error se tiene:

$$F_y = 7 \text{ lbs}$$

Para determinar la fuerza horizontal que se necesita para desplazar el racle, se realiza el siguiente cálculo:



**Figura 4.4. Fuerzas que actúan en el racle.**

Si el coeficiente de fricción del caucho del racle y la tinta en la seda es de [4]:

$$\mu = 0.85$$

$$Fr = \mu * Fy$$

como:

$$Fx = Fr$$

$$Fx = \mu * Fy = 0,85 * 7 = 6 \text{ lb} = 2,69 \text{ Kg}$$

Por lo que, se deduce que la fuerza mínima necesaria para desplazar el racle en sentido horizontal es de 2.69 Kg.

#### **4.2.1.2 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD LINEAL REQUERIDA.**

El proceso artesanal actual aporta experimentalmente con la Tabla 4.5.

**TABLA 4.5. TIEMPOS EMPLEADOS EN LA IMPRESIÓN.**

<b>Tiempo</b>	<b>Distancia</b>
(segundos)	(cm)
2,30	30
2,00	30
2,50	30
2,23	30
2,32	30
2,40	30
2,29	30
2,44	30

$$T_{promedio} = \frac{18,48}{8} = 2,31 \text{ seg}$$

$$v = \frac{30}{2,31} = 12,99 \frac{cm}{seg} = 25,58 \frac{pie}{min}$$

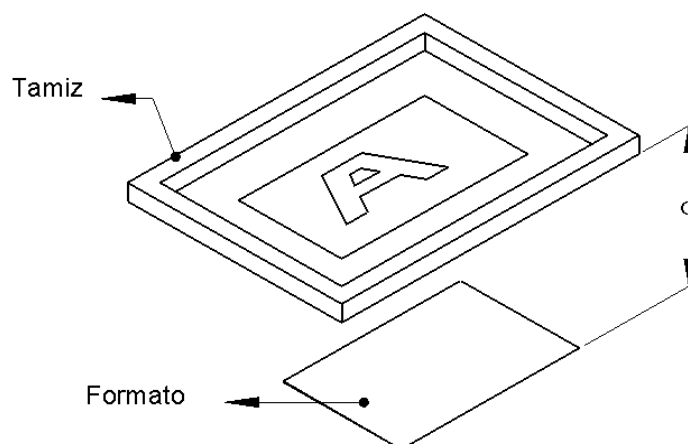
#### **4.3. PARÁMETROS FUNCIONALES.**

La impresora de serigrafía proyectada debe cubrir de manera eficiente todas las etapas que intervienen en el ciclo de impresión. La calidad de las impresiones dependerá en gran medida de la calibración del equipo por parte del artesano.

Se considera como parámetros funcionales los requerimientos observados en el proceso artesanal, como son: el posicionamiento del marco para empezar el trabajo, la dispersión de la tinta por medio del cargador, el posicionamiento del marco sobre la hoja a una distancia muy corta, quedando listo el equipo para la impresión, lo siguiente será la impresión por medio del racle, luego el marco volverá a su posición inicial para empezar otro ciclo de trabajo. Estas funciones

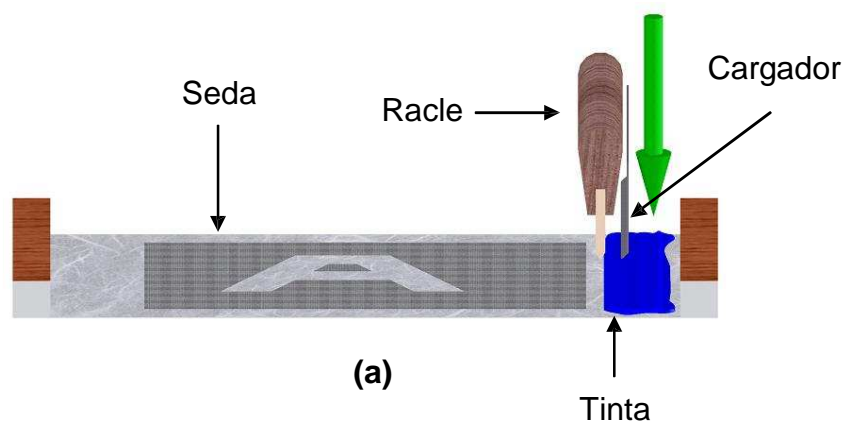
deben ser realizadas eficientemente por medio de un sistema que permita optimizar el proceso.

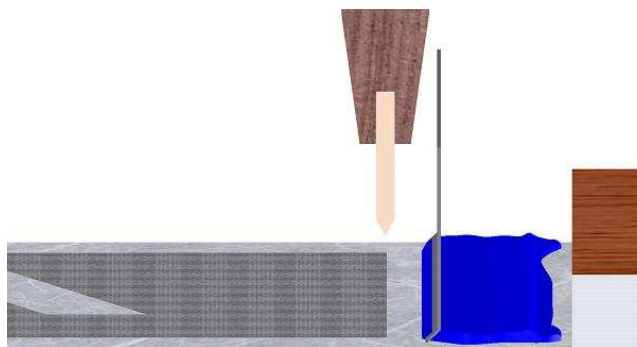
#### 4.3.1 PRIMER MOVIMIENTO.



**Figura 4.5. Posición inicial del marco.**

**Descripción:** El marco se encuentra en la posición indicada en la Fig.4.5 (distancia “a”). El racle y el cargador se encuentran en un punto muerto superior para que luego únicamente el cargador baje al punto muerto inferior, y tome una porción de la tinta acumulada en el lado derecho del marco, como se indica en la Fig.4.6 (b).





(b)

Figura 4.6. Desplazamiento del cargador

#### 4.3.2 SEGUNDO MOVIMIENTO.

**Descripción:** El cargador distribuye la porción de tinta separada, a lo largo de toda el área de impresión como se indica en la Fig.4.7.

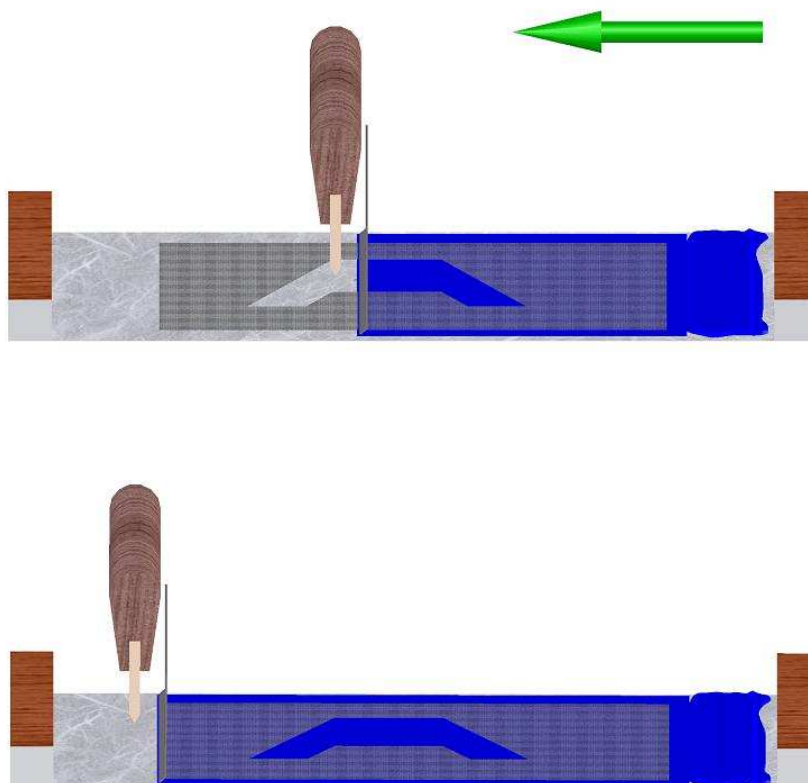
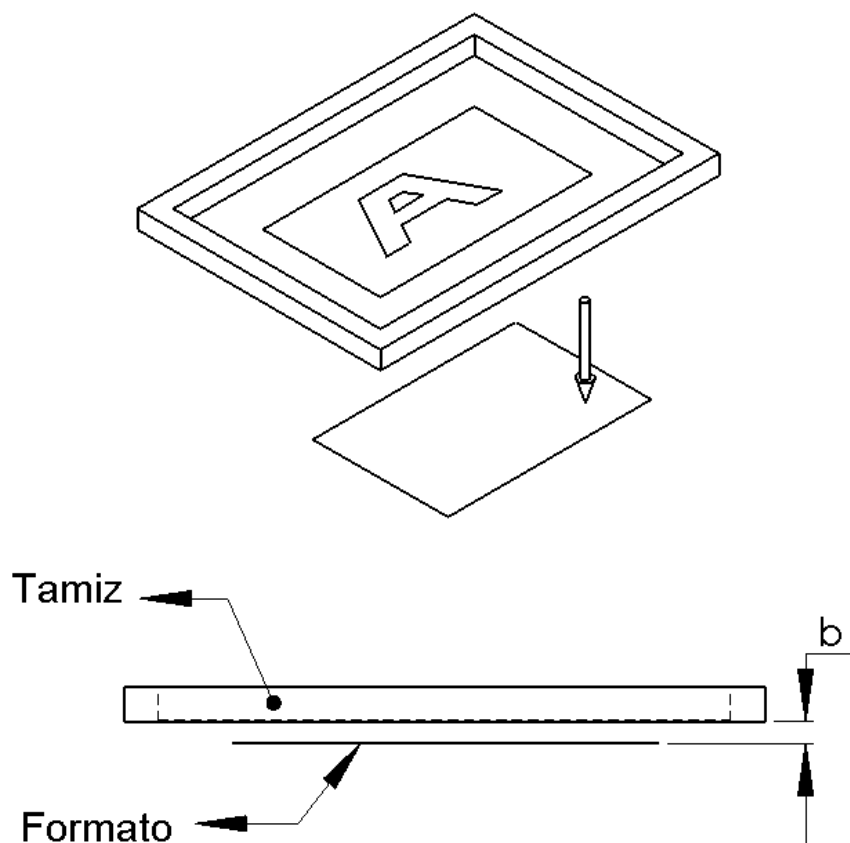


Figura 4.7. Proceso de cargado.

### 4.3.3 TERCER MOVIMIENTO.

**Descripción:** El marco baja a la posición inferior separada pocos milímetros de la hoja, como se indica en la Fig.4.8 (distancia b).

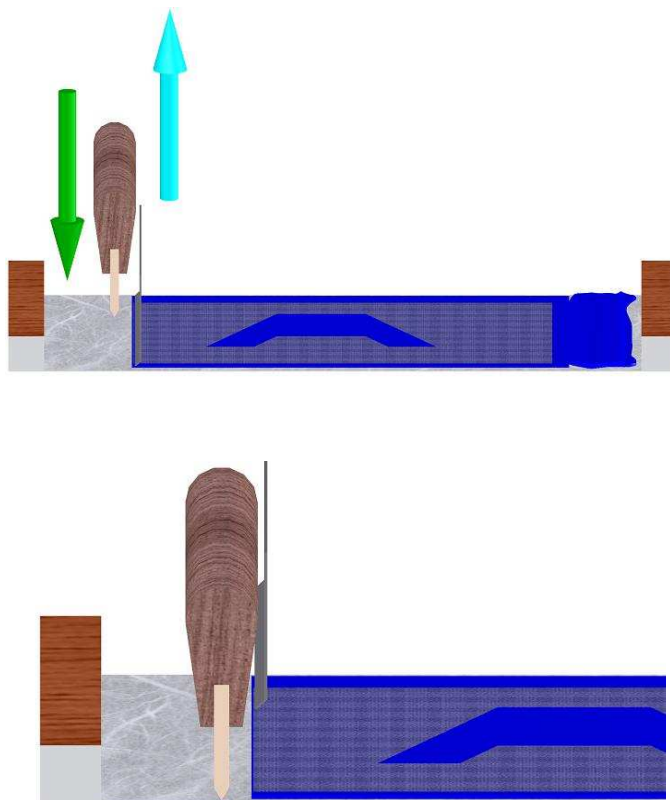


**Figura 4.8. Posicionamiento del marco sobre la hoja.**

### 4.3.4 CUARTO MOVIMIENTO.

**Descripción:** Se tiene dos movimientos independientes que se realizan al mismo tiempo. Estos son: el levantamiento del cargador al punto muerto superior y el posicionamiento del racle en el punto muerto inferior, posición donde el racle ejerce una presión sobre la seda, como se indica en la Fig.4.9.

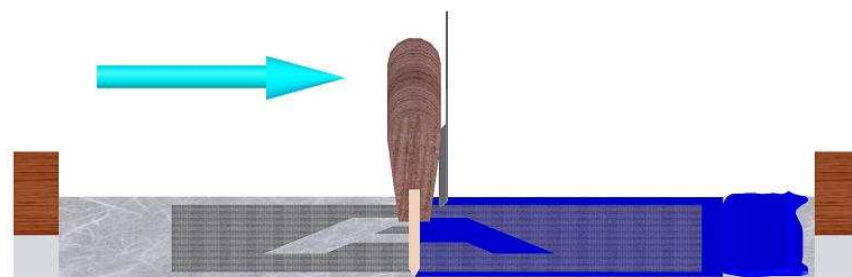


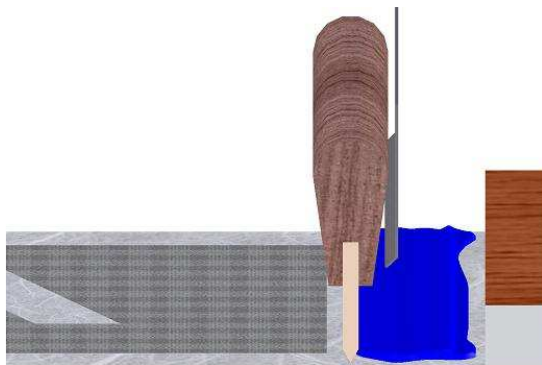


**Figura 4.9. Posicionamiento del racle y cargador.**

#### 4.3.5 QUINTO MOVIMIENTO.

**Descripción:** Es el más importante en el proceso de serigrafía. En esta etapa se realiza la impresión del dibujo, revelado en la seda sobre el papel. El racle es desplazado de izquierda a derecha ejerciendo una presión constante sobre la seda, como indica la Fig. 4.10.

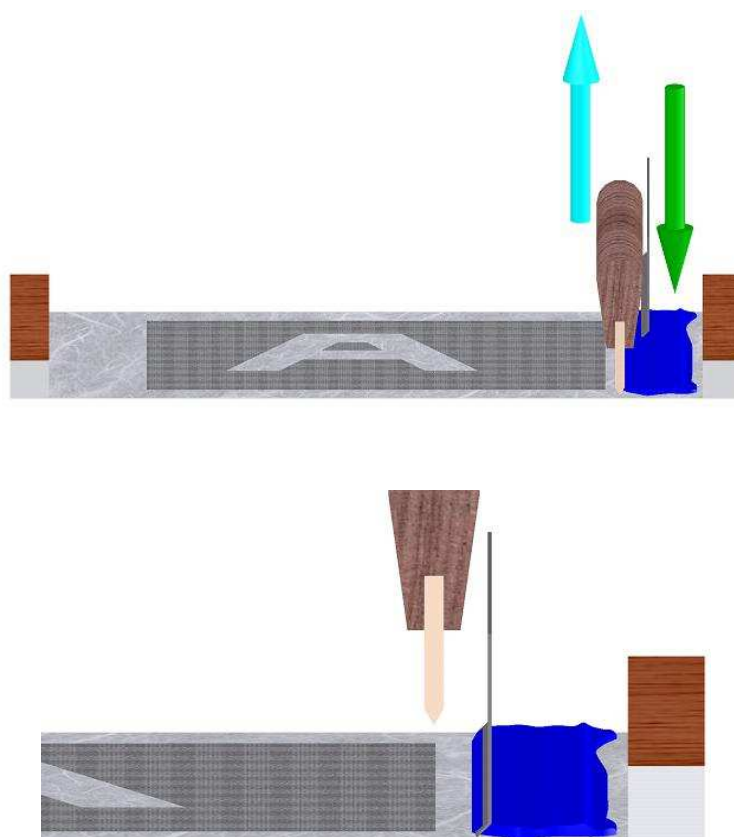




**Figura 4.10. Proceso de impresión.**

#### **4.3.6 SEXTO MOVIMIENTO.**

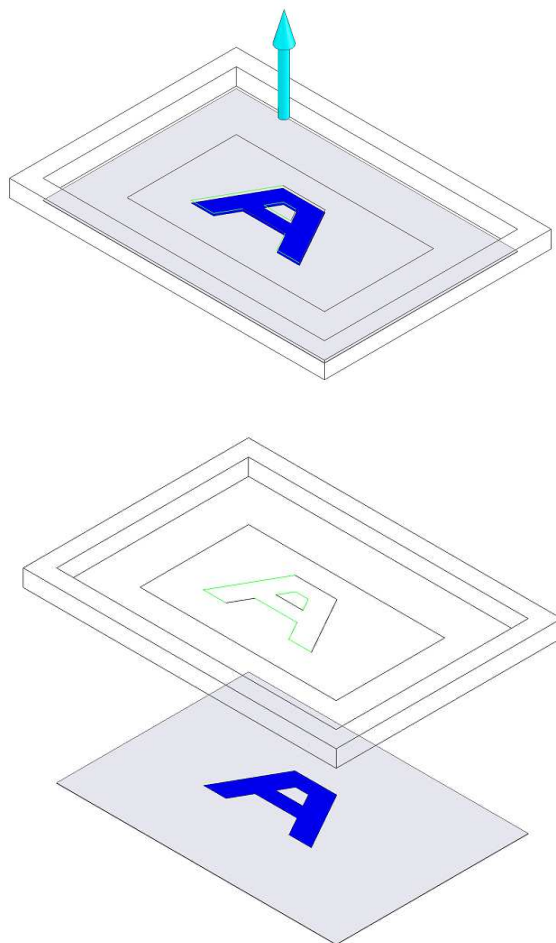
**Descripción:** El racle sube al punto muerto superior y el cargador baja al punto muerto inferior, como indica la Fig. 4.11.



**Figura 4.11. Posicionamiento del racle y cargador.**

#### 4.3.7 SÉPTIMO MOVIMIENTO.

**Descripción:** Es la última etapa del ciclo de la máquina. El marco es desplazado a una posición superior (separado una distancia prudente del formato), como se indica en la Fig. 4.12.



**Figura 4.12. Levantamiento del marco.**

Luego de realizado el último movimiento, el operario deberá retirar la hoja en la cual se encuentra impreso el gráfico y colocar otra para repetir el ciclo.

## **CAPÍTULO V**

### **5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE PARTES.**

#### **5.1. DISEÑO MECÁNICO.**

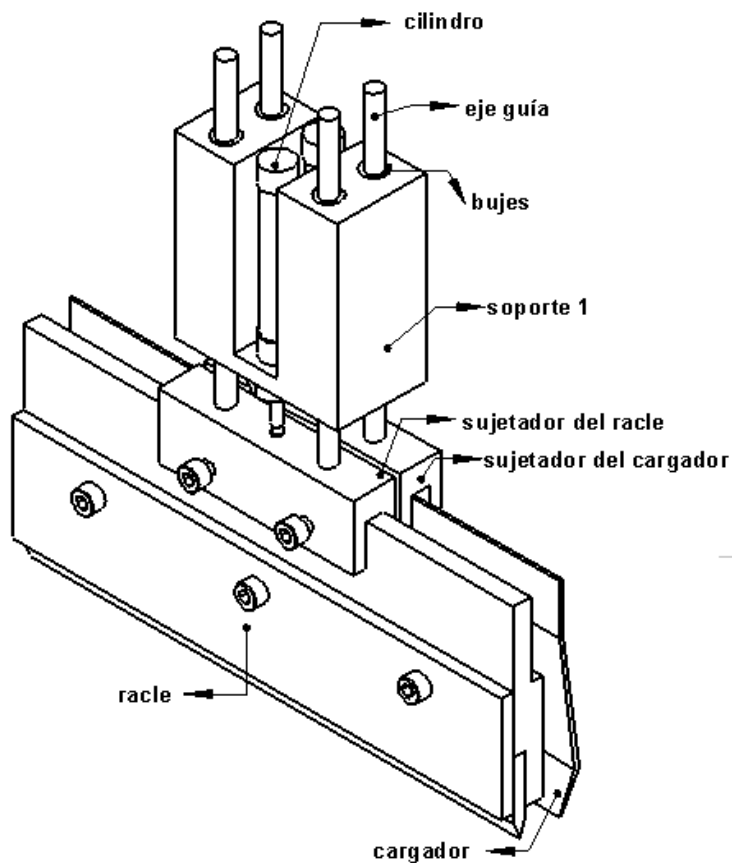
##### **5.1.1 DISEÑO DE ELEMENTOS DEL DISPOSITIVO DE IMPRESIÓN Y CARGADO.**

El conjunto de elementos que conforman el dispositivo de impresión y cargado, permiten el accionamiento del racle y el cargador en forma alternada. El mecanismo permite además distribuir la tinta en el tamiz por medio del cargador y luego ejercer la presión necesaria por medio del racle para realizar la impresión. En la Fig.5.1, se puede observar los elementos que forman parte del dispositivo de cargado e impresión.

##### **5.1.1.1 DISEÑO DEL RACLE.**

El diseño y dimensionamiento del racle están basados en el área de impresión y en el apriete que se debe hacer en los dos elementos que lo conforman por medio de pernos, con el propósito de que la goma quede sujeta de tal manera que el

proceso de impresión se desarrolle en forma óptima.

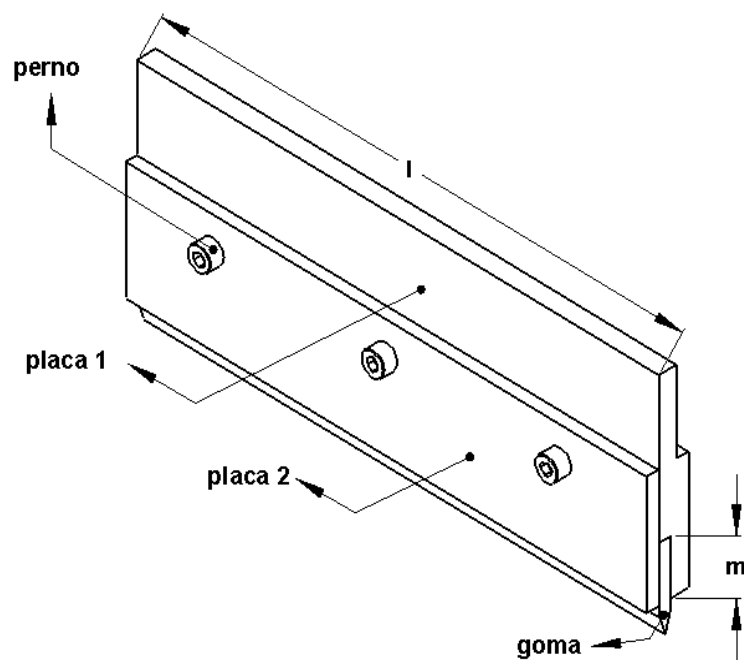


**Figura 5.1. Dispositivo de cargado e impresión.**

#### **5.1.1.1.1 GEOMETRÍA DEL RACLE.**

La geometría del racle que se indica en la Fig.5.2, cumple con las condiciones que se deben considerar en el proceso de impresión.

La dimensión “l” depende del área de impresión. Para el presente proyecto se considera el racle de mayores medidas ( $l = 30 \text{ cm}$ ). La magnitud de “m” se determina considerando las dimensiones de la goma y su valor debe ser el adecuado para una correcta sujeción, en este caso  $m = 2,5 \text{ cm}$  [10].

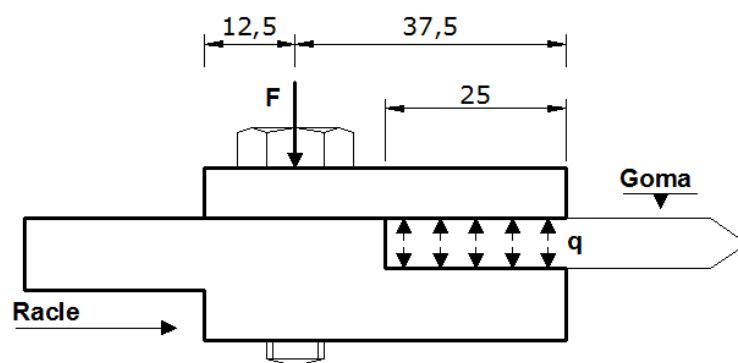


**Figura 5.2. Racle.**

#### 5.1.1.1.2 SELECCIÓN DE LOS PERNOS.

Es importante empezar estableciendo el número y el tipo de pernos necesarios para la sujeción correcta de la goma.

##### 5.1.1.1.2.1 CARGAS SOBRE LOS PERNOS.



**Figura 5.3. Fuerzas que actúan sobre el racle.**

En la Fig. 5.3, se esquematiza la acción de las fuerzas que actúan sobre el racle cuando se realiza el apriete sobre la goma para su correcta fijación.

donde:

$F$  = Fuerza que deben soportar los pernos.

$q$  = Carga requerida para la sujeción de la goma.

Presión necesaria para sujetar el caucho ( $P_{sc}$ ):

$$P_{sc} = 1 \frac{Kg}{cm^2} = 98 * 10^3 \frac{N}{m^2}$$

Dado empíricamente, de la experiencia artesanal.

Área para la sujeción:

$$A_s = l * m = (30 \text{ cm}) * (2,5 \text{ cm}) = 75 \text{ cm}^2$$

La carga distribuida y carga total sobre los pernos:

Remplazando los datos en la ecuación 5.1, se puede determinar la carga puntual utilizando la ecuación 5.2.

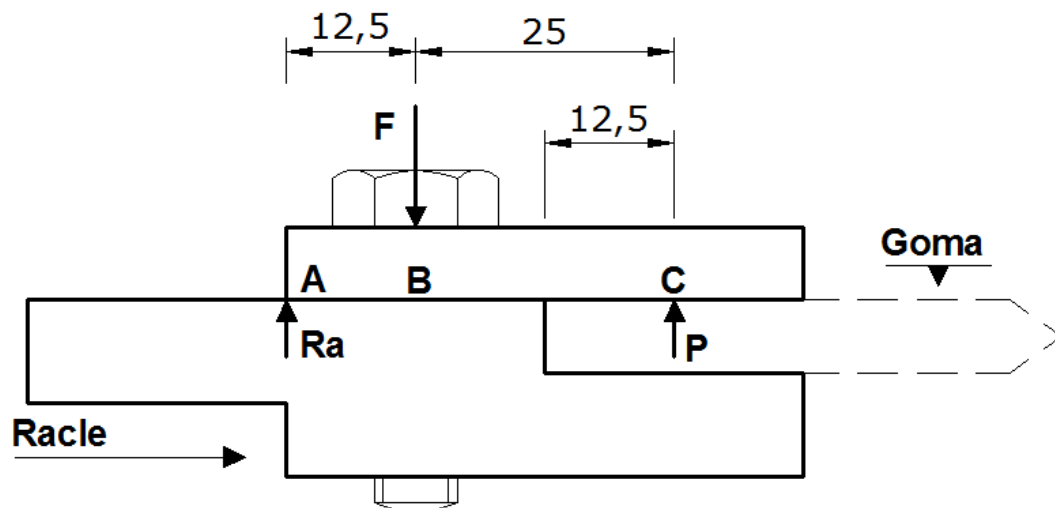
$$q = P_{sc} * a = 30 \frac{Kg}{cm} = 29,4 \frac{N}{mm} \quad (5.1)$$

$$P = q * b = 29,4 \frac{N}{mm} * 25 \text{ mm} = 735 N \quad (5.2)$$

$$\sum M_a = 0 \quad (5.3)$$

$$12.5 * F - 735 * 37.5 = 0$$

$$F = \frac{(735 * 37.5)}{12.5} = 2205 N$$



**Figura 5.4. Diagrama de cuerpo libre.**

La pretensión en los pernos para conexiones no fijas es [1]:

$$F_i = 0.75 * A_t * S_p \quad (5.4)$$

Características mecánicas de los pernos (clase 4.6) [1]:

$$S_p = 225 MPa$$

$$S_y = 240 MPa$$

**DISEÑO A CARGA ESTÁTICA [1][3].**



$$\frac{F_i}{A_t} + \frac{c * n * P}{A_t * N} = S_Y \quad (5.5)$$

donde:

$N$  = Número de pernos.

$n$  = Factor de seguridad.

$c$  = Constante elástica de la junta

Si se asume  $c = 0.4$ , con un factor de seguridad de  $n = 3$ , se tiene:

$$\frac{0.6 * A_t * S_P}{A_t} + \frac{c * n * P}{A_t * N} = S_Y$$

$$A_t * N = \frac{c * n * P}{(S_Y + 0.6 * S_P)}$$

$$A_t * N = 7.1 \text{ mm}^2 \quad (5.6)$$

El número de pernos que se requieren para la sujeción de la goma es por lo menos 2, debido a la longitud del racle. Pero, como se puede apreciar en la Tabla 5.1, los diámetros de los pernos que se obtiene por medio de la ecuación 5.6, son demasiado pequeños.

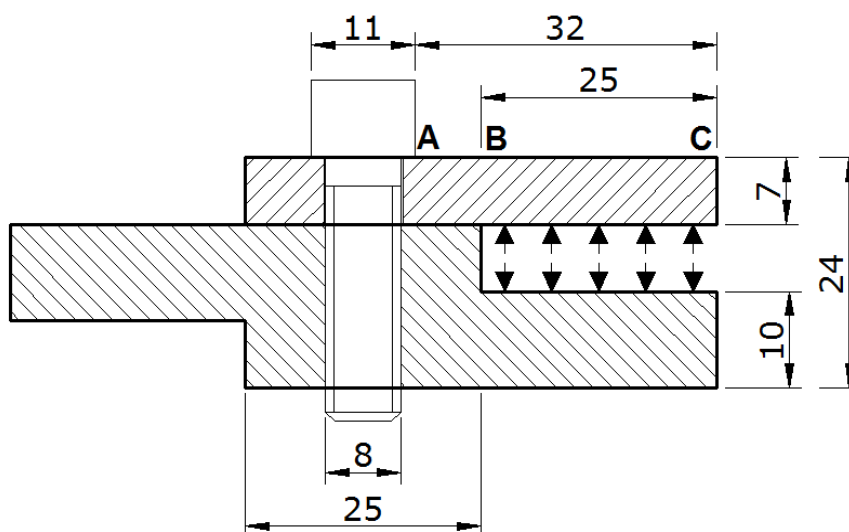
**TABLA 5.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS PERNOS DEL RACLE**

Área(mm <sup>2</sup> )	N	D(mm)
7,10	1	3,01
3,55	2	2,13
2,37	3	1,74

El material del que está construido el racle es aluminio (un material relativamente suave), por lo que se requieren pernos más grandes, para que la construcción de las piezas se facilite y se realicen sin ninguna dificultad.

Para la sujeción de la goma en el racle se utilizan 3 pernos - Clase 4.6 M8 X 1.25 (pernos de cabeza con hueco hexagonal). Se elige porque su diámetro nominal, de 8 mm, y es adecuado para realizar la rosca interna sin ninguna dificultad.

#### 5.1.1.1.3 DISEÑO DE LA PLACA DE SUJECCIÓN (PLACA 2) DE LA GOMA.



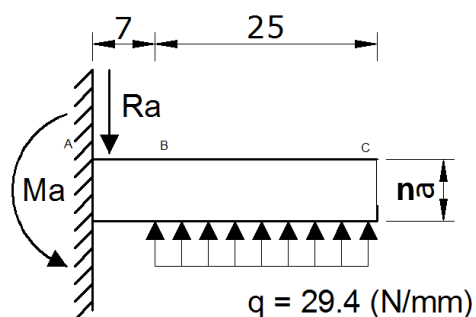
**Figura 5.5. Dimensiones de la placa.**

La sección crítica se presenta en la placa 2, como se indica en la Fig. 5.5, ya que es la menos robusta.

En la Fig. 5.6, se muestra la placa 2 que se utiliza para la sujeción de la goma incluidas las dimensiones de los pernos seleccionados.

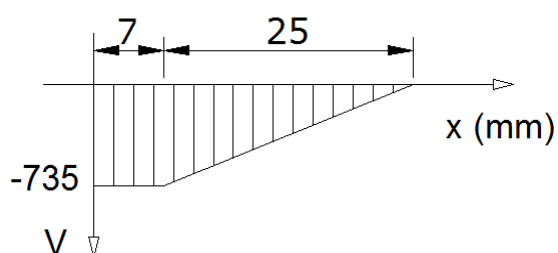
#### **CARGAS SOBRE LA PLACA.**

En la Fig. 5.6 se esquematiza el modelo a seguir, el cual consiste en una viga en voladizo.

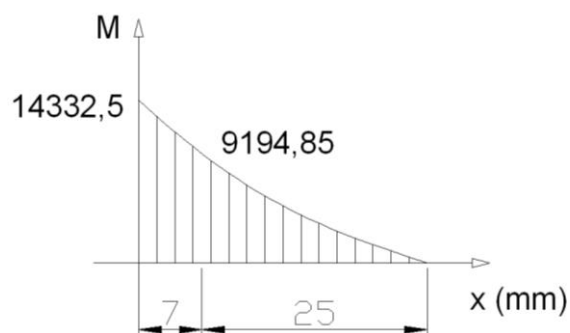


**Figura 5.6. Fuerzas que actúan sobre la placa.**

#### DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR.



**Figura 5.7. Diagrama de fuerza cortante de la placa.**



**Figura 5.8. Diagrama de momento flector de la placa.**

#### DISEÑO DE LA PLACA [2].

La resistencia a la fluencia de la aleación de aluminio que se utiliza para la construcción del racle, es [2]:

$$S_y = 17 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 2.5 * 10^3 \text{ Psi}$$

Flexión:

$$\sigma_f = \frac{M_f * c}{I} = \frac{12 * 14.3325 * a}{2 * 0.3 * a^3} = \frac{286.65}{a^2} \left( \frac{N}{m^2} \right) \quad (5.7)$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{735}{0.3 * a} = \frac{2450}{a} \left( \frac{N}{m^2} \right) \quad (5.8)$$

Esfuerzo equivalente:

Según el criterio de Von Mises con un factor de seguridad de 2.5:

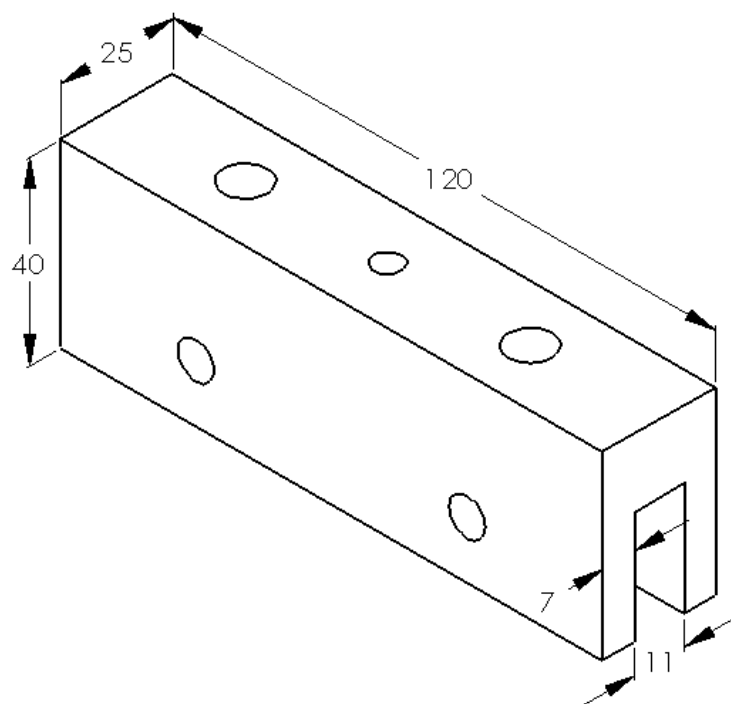
$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{\left( \frac{286.65}{a^2} \right)^2 + 3 * \left( \frac{2450}{a} \right)^2} = \frac{S_y}{n} \quad (5.9)$$

$$\sqrt{\left( \frac{286.65}{a^2} \right)^2 + 3 * \left( \frac{2450}{a} \right)^2} = \frac{17 * 10^6}{2.5}$$

$$a = 6.5 \text{ mm}$$

Se selecciona una placa de 7 mm (para asegurar el diseño); con lo que se evita posibles fallas, debido a imperfecciones que puede presentar la aleación de aluminio.

### 5.1.1.2 DISEÑO DEL SUJETADOR DEL RACLE

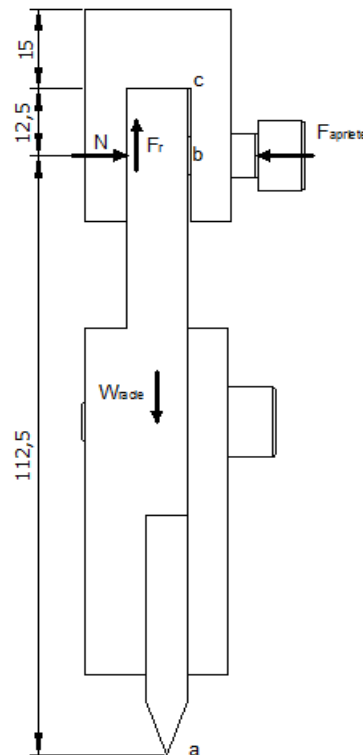


**Figura 5.9. Sujetador del racle.**

En la Fig. 5.9 se puede apreciar la geometría del sujetador. Las dimensiones están de acuerdo con las características del racle y el cargador. Además, debe cumplir con las condiciones requeridas por el dispositivo de accionamiento, para la impresión y cargado de la tinta.

### CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE EL SUJETADOR DEL RACLE.

El sujetador del racle, en primera instancia, debe soportar satisfactoriamente la fuerza de apriete que se ejerce por medio de los pernos, para soportar el peso del racle. En la Fig. 5.10, se muestran las cargas que actúan cuando el dispositivo está en suspensión. Es decir, antes de realizar la impresión.



**Figura 5.10. Soporte expuesto al peso del racle.**

donde:

$F_i$  = Fuerza de apriete.

$W_{racle}$  = Peso de racle.

$F_r$  = Fuerza de rozamiento.

$N$  = Fuerza normal.

$R$  = Fuerza necesaria para la impresión.

### **Peso del racle:**

El primer parámetro requerido es el peso del racle, que se determina a continuación.

Densidad del poliuretano (goma) y del aluminio [2]:

$$\rho_{Poliuretano} = (1040 - 1050) \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_{Al} = 2800 \frac{Kg}{m^3}$$

Peso del caucho:

$$W = \rho * v * g \quad (5.10)$$

$$W_{goma} = 0.11025 * 9.8 = 1.08045 N$$

$$W_{Al} = 1.1466 * 9.8 = 11.237 N$$

Peso total del racle:

$$W_{Racle} = W_{Al} + W_{Caucho} = 12.4 N$$

**Cálculo de la fuerza de rozamiento:**

La fuerza de fricción debe ser mayor o igual al peso del racle, para que quede firme (Fig. 5.10).

El coeficiente de rozamiento estático entre dos metales esta en el siguiente rango [4]:

$$\mu_{Estático} = (0.15 - 0.6)$$

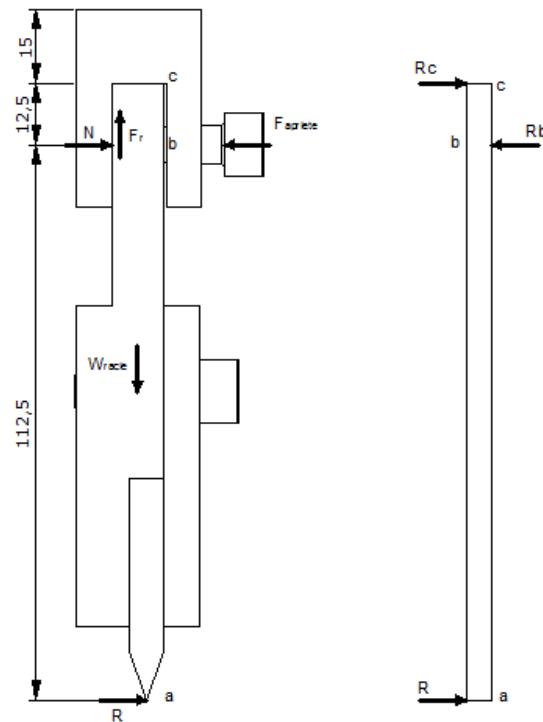
Se asume un  $\mu_{Estático} = 0,375$ :

$$W_{Racle} = \mu * N$$

$$N = \frac{W_{Racle}}{\mu} = \frac{12.4}{0.375} = 32N$$

Cuando el racle realiza el proceso de impresión, se tiene el diagrama de cuerpo libre, que se indica en la Fig. 5.11.

Aquí, se considera la fuerza extra que el sujetador debe vencer cuando el racle realiza el proceso de impresión. Para esto, el dispositivo de desplazamiento horizontal debe realizar una fuerza extra  $R$ .



**Figura 5.11. Esquema de fuerzas cuando el racle imprime.**

$$\sum M_c = 0$$

$$Rb * 12,5 - R * 125 = 0$$

$$Rb = F_{Extra} = 267 N$$



Por lo tanto, la fuerza de apriete que se requiere para que el racle quede sujeto firmemente es:

$$F_i = N + R + F_{Extra} = (32 + 26,7 + 267) = 326N \quad (5.11)$$

326 N, es la fuerza mínima para sostener el racle, se utiliza un factor de mayoración de 1,5 para incluir imprevistos.

$$F_i = 326 * 1.5 = 490N$$

#### DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR.

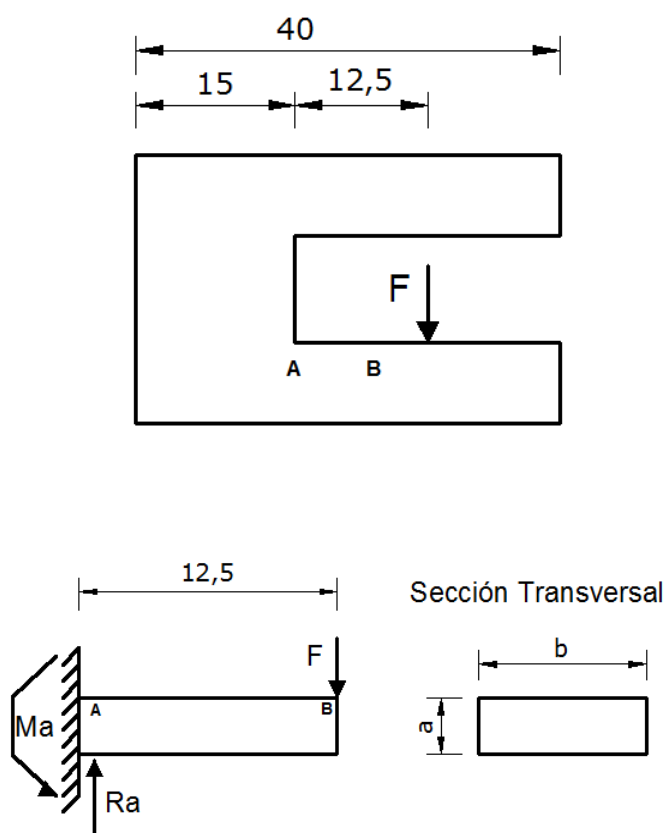


Figura 5.12. Fuerzas que actúan en el sujetador del racle.

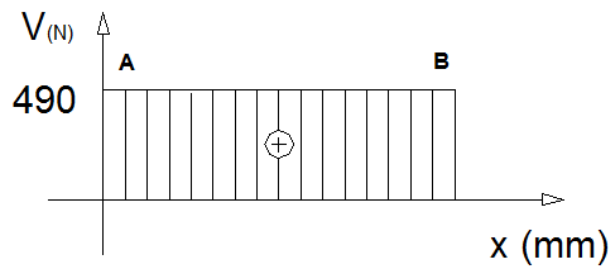


Figura 5.13. Diagrama de fuerza cortante del sujetador.

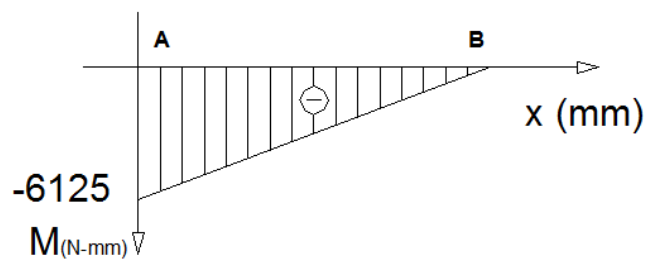


Figura 5.14. Diagrama de momento flector del sujetador.

### DISEÑO ESTÁTICO DEL SUJETADOR DEL RACLE [1][2][3].

La resistencia a la fluencia de la fundición de aluminio que se utiliza para la construcción del racle es [2]:

$$S_Y = 17 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right) = 2.5 * 10^3 (Psi)$$

Para el diseño de la placa, se determina los esfuerzos que actúan sobre ella.

$$\sigma_f = \frac{M_f * c}{I} = \frac{12 * 6,125 * a}{2 * 0.12 * a^3} = \frac{306,25}{a^2} \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{490}{0.12 * a} = \frac{4083}{a} \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

Aplicando el criterio de diseño de la energía de distorsión angular o criterio de Von Mises, y considerando un factor de seguridad de 2.5 se tiene:

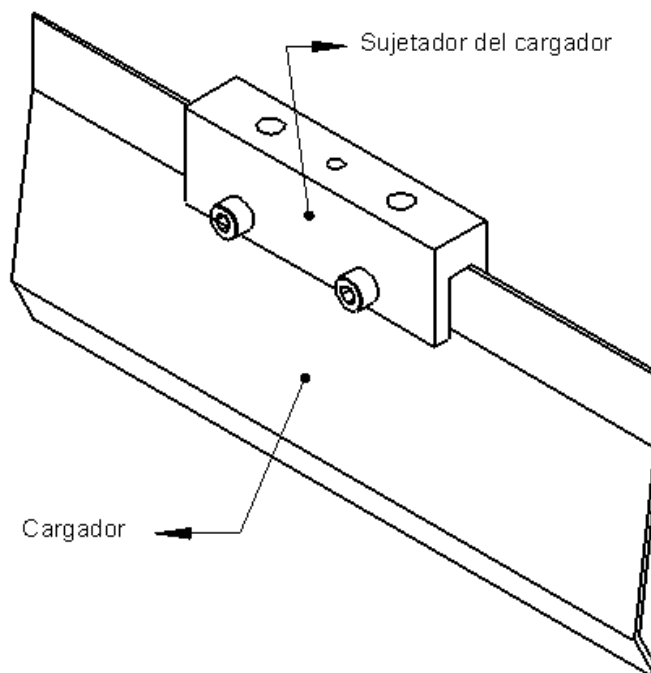
$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{306,25}{a^2}\right)^2 + 3\left(\frac{4083}{a}\right)^2} = \frac{S_y}{n}$$

de donde:

$$a = 6,75mm \approx 7mm$$

Se selecciona una placa de 7 mm de espesor (para asegurar el diseño), con lo que se cubren las posibles fallas debido a imperfecciones que puede presentar la fundición de aluminio.

#### 5.1.1.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CARGADOR Y SU SUJETADOR.



**Figura 5.15. Cargador y su sujetador.**

Las dimensiones del cargador se relacionan directamente con las dimensiones del racle. El primero distribuye uniformemente la tinta sobre la superficie del gráfico a copiar. El segundo ejerce cierta presión y recorre en sentido opuesto e imprime el gráfico. La geometría del cargador, es tal, que facilita la distribución de la tinta.

En la Fig. 5.15, se puede apreciar la geometría del cargador y de su sujetador.

El ensamble entre ambos elementos se lo realiza por medio de dos pernos clase 4.6 M8 X 1.25, se elige dicho tipo de pernos porque su diámetro nominal, de 8 mm, es el más adecuado para realizar la rosca interna sin ninguna dificultad en el sujetador, ya que, al igual que el sujetador del racle, éste también es de aluminio.

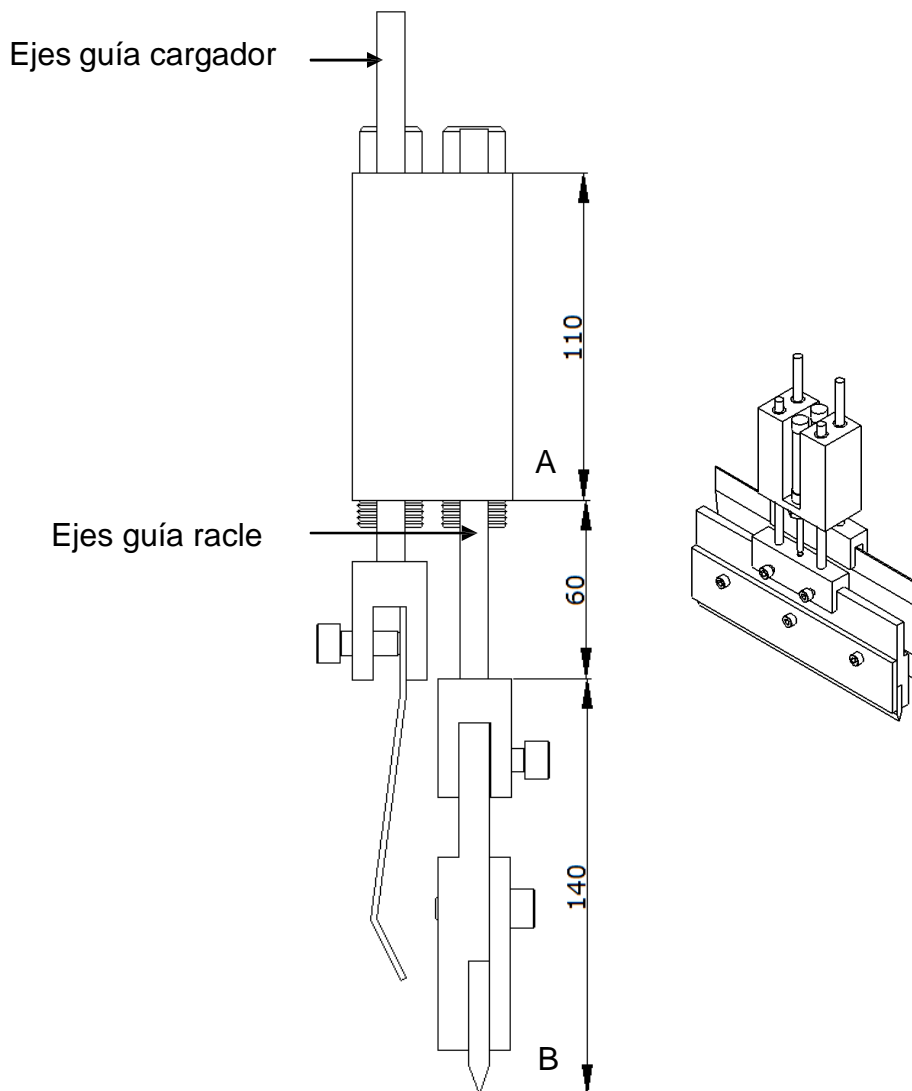
El dimensionamiento y diseño del sujetador del cargador deben ser similares al sujetador del racle, para facilitar la construcción y conservar la simetría del conjunto.

Las dimensiones y geometría del sujetador del cargador son las apropiadas para que el conjunto, que es el encargado de hacer funcionar el cargador y el racle en forma alternada, opere sin ninguna dificultad.

#### **5.1.1.4 DISEÑO DE LOS EJES GUÍAS DEL RACLE Y CARGADOR [1][2][3].**

El racle y el cargador trabajan en forma alternada. Esto se logra coordinando la secuencia de funcionamiento de los cilindros que los accionan. El cargador distribuye la tinta uniformemente sobre el área del dibujo, para luego, por medio del racle, ejercer una cierta presión sobre la malla con la tinta distribuida. Con esto la impresión queda lista. El racle es el elemento que se expone a mayores

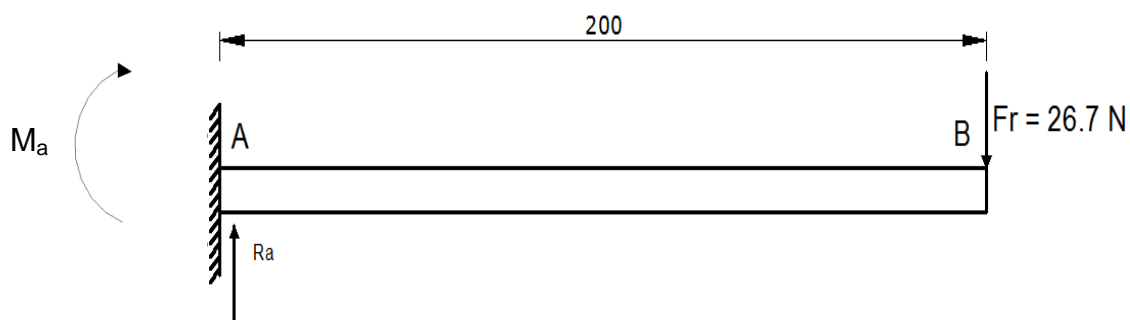
esfuerzos, y son sus ejes guía los que soportan la carga. En la Fig. 5.16, se muestra el racle en su posición de trabajo.



**Figura 5.16. Esquema del trabajo de los ejes.**

### **CARGAS SOBRE EL EJE.**

Los ejes, el racle y su sujetador forman una viga en voladizo. En la Fig.5.17, se indica el sistema de cargas a las que se reduce.



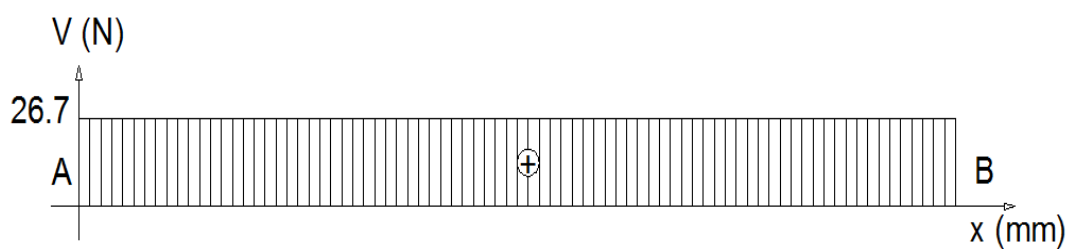
**Figura 5.17. Diagrama de cuerpo libre.**

donde:

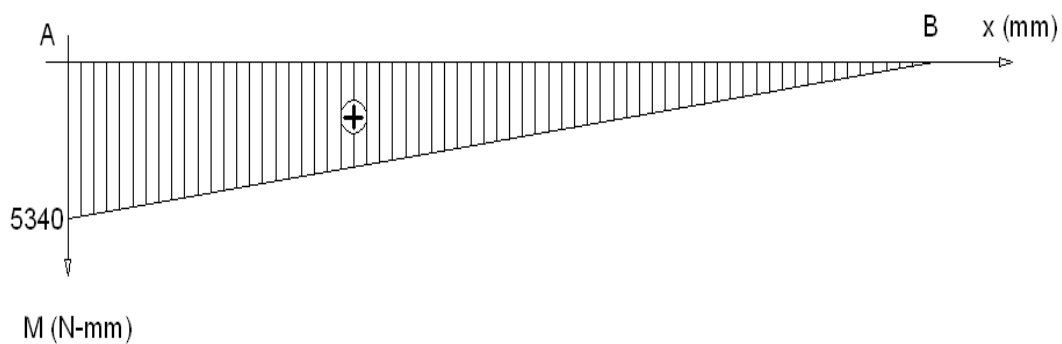
$F_r$  = Fuerza necesaria para el desplazamiento horizontal del racle.

$R_a$  = Cortante máximo que se produce sobre le eje.

$M_a$  = Momento flector máximo que se produce sobre el eje.



**Figura 5.18. Diagrama de fuerza cortante.**



**Figura 5.19. Diagrama de momento flector.**

## DISEÑO DE LOS EJES GUÍA.

El material del que se construyen los ejes es una barra de acero de transmisión SAE 1018, cuyas características mecánicas son [2] se tiene:

$$S_y = 31 \left( \frac{Kg}{mm^2} \right) = 303.8 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

Esfuerzos:

$$\sigma_f = \frac{M_f * c}{I} = \frac{27197,2}{d^3} \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{17}{d^2} \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

Aplicando el criterio de diseño de la energía de distorsión angular o criterio de Von Mises, y considerando un factor de seguridad de 2.5:

$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{\left( \frac{27197,2}{d^3} \right)^2 + 3 * \left( \frac{17}{d^2} \right)^2} = \frac{S_y}{n}$$

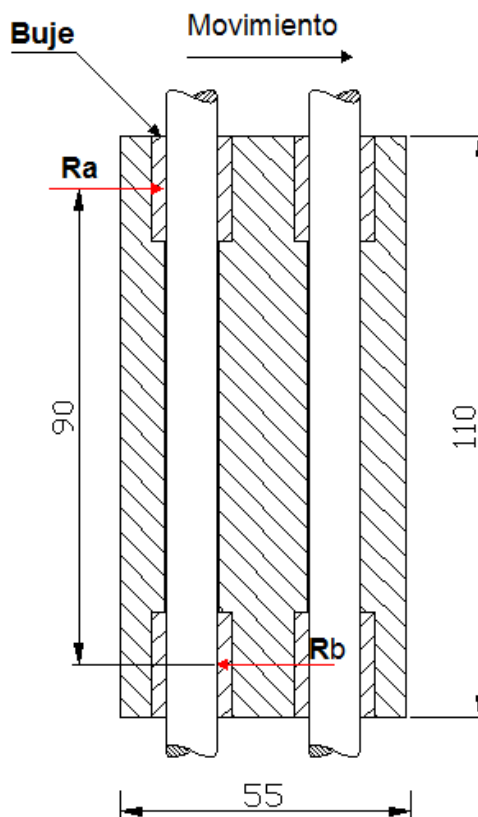
de donde:

$$d \approx 6 \text{ mm}$$

Se selecciona un eje de diámetro:

$$d = 3/8 \approx 9,25 \text{ mm.}$$

### 5.1.1.5 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BUJES PARA LOS EJES DEL RACLE Y CARGADOR.



**Figura 5.20. Bujes**

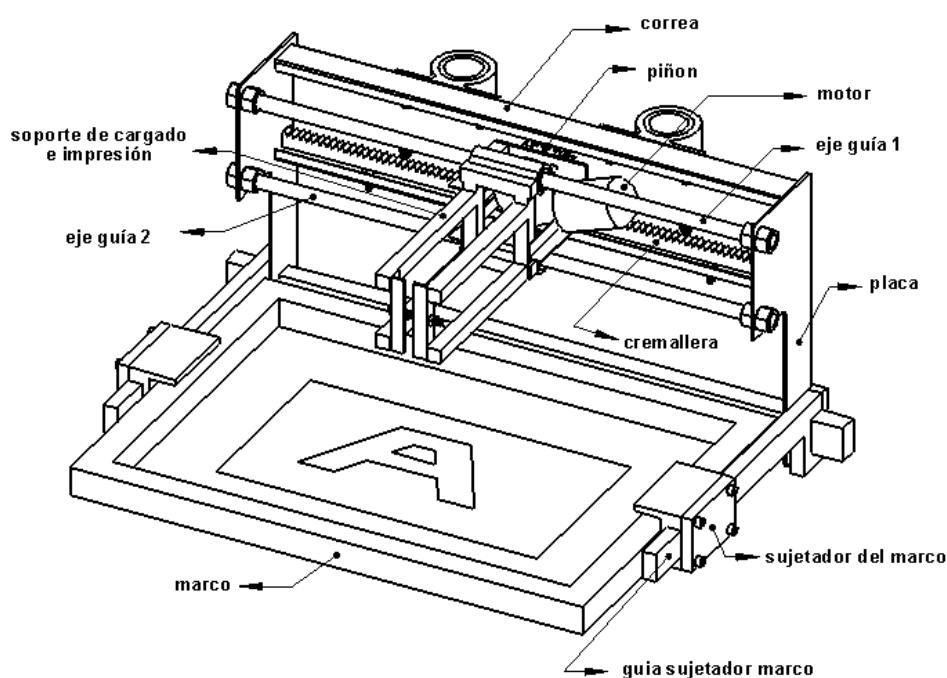
El desplazamiento del racle y del cargador, en sentido vertical, debe realizarse con precisión y utilizando el mínimo esfuerzo. Para realizar tal función, se utiliza bujes de nylon 6.6, que, resulta un material con excelentes propiedades mecánicas: buena resistencia en relación a su peso, auto lubricación y bajo costo en el mercado.

Los bujes a utilizar en el sistema son dimensionados de acuerdo a las características geométricas más adecuadas para el conjunto de cargado e impresión, optimizando el espacio disponible como se muestra en la Fig. 5.20.



### 5.1.2 DISEÑO DE PARTES DEL MECANISMO DE POSICIONAMIENTO DEL MARCO.

El mecanismo de posicionamiento del marco (Fig. 5.21), lo constituyen los elementos que permiten el desplazamiento en sentido horizontal del dispositivo de cargado e impresión; además, incluye el resto de elementos que permiten la sujeción del marco.

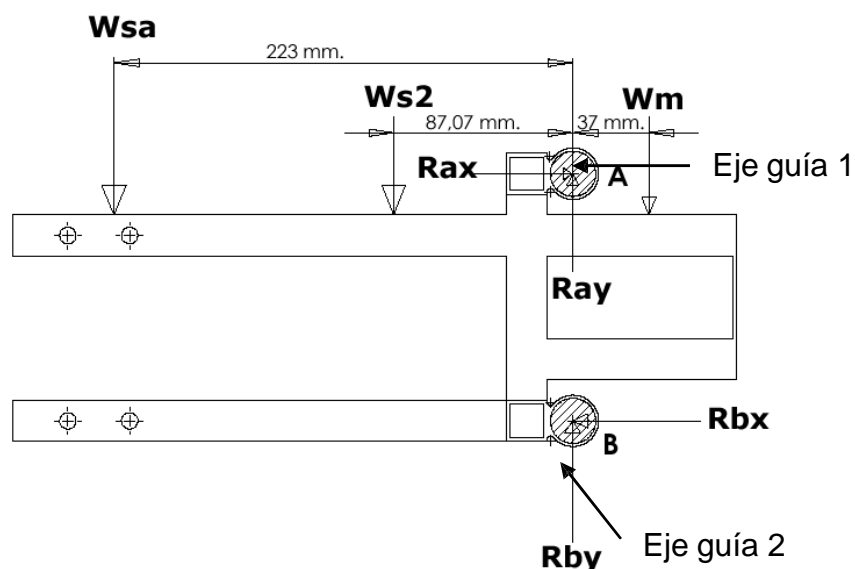


**Figura 5.21. Mecanismo de posicionamiento del marco.**

#### 5.1.2.1 DISEÑO DE LOS EJES DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL.

El dispositivo de impresión se desplaza en forma horizontal por medio de un motor de corriente continua y un mecanismo piñón – cremallera. Dicho sistema se soporta sobre 2 ejes, que a más de sostener el peso del dispositivo de cargado e impresión, sirven como guía para el desplazamiento.

En la Fig.5.22, se esquematizan las cargas que actúan y que deben soportar los ejes, donde:



**Figura 5.22. Cargas en los ejes guía del soporte de cargado e impresión.**

$W_{sa}$  = Peso del dispositivo de accionamiento del racle y el cargador.

$W_{s2}$  = Peso del soporte 1.

$W_m$  = Peso del motor.

$R_{ax}$ ,  $R_{bx}$  = Cargas en la componente x que se producen en el eje.

$R_{ay}$ ,  $R_{by}$  = Cargas en la componente y que se producen en el eje.

Los pesos fueron obtenidos mediante la medición directa de los elementos, una vez que estos fueron adquiridos.

El cálculo de las cargas que actúan sobre los ejes, se realiza utilizando las ecuaciones que definen el equilibrio estático de un cuerpo.

$$\sum M_A = 0$$

$$W_{sa} * 22.3 + W_{s2} * 8.707 - W_m * 3.7 = R_{bx} * 12$$

$$R_{bx} = 7.8 \text{ Kg.}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{ax} = R_{by} = 7.8 \text{ Kg.} = 70 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

Si se asume que los dos ejes soportan por igual la fuerza vertical se tiene:

$$R_{ay} = R_{by} = (3.3 + 3.314 + 2.38) = 8.9 \text{ Kg} = 87.2 \text{ N}$$

$$R_a = \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2} \quad (5.12)$$

$$R_a = R_b = \sqrt{70^2 + 87.2^2} = 112 \text{ N}$$

Carga puntual donde se producen  $V_{A-\text{Maximo}}$  y  $M_{A-\text{Maximo}}$ .

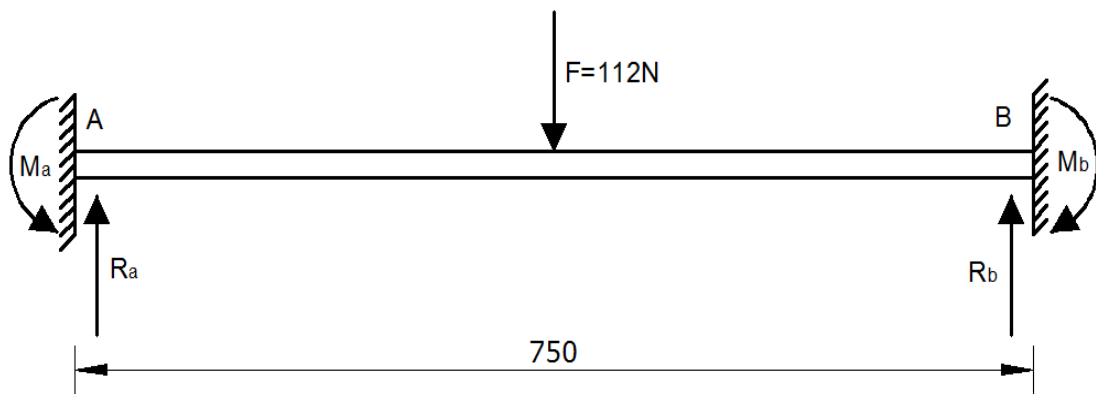


Figura 5.23. Diagrama cuerpo libre eje.

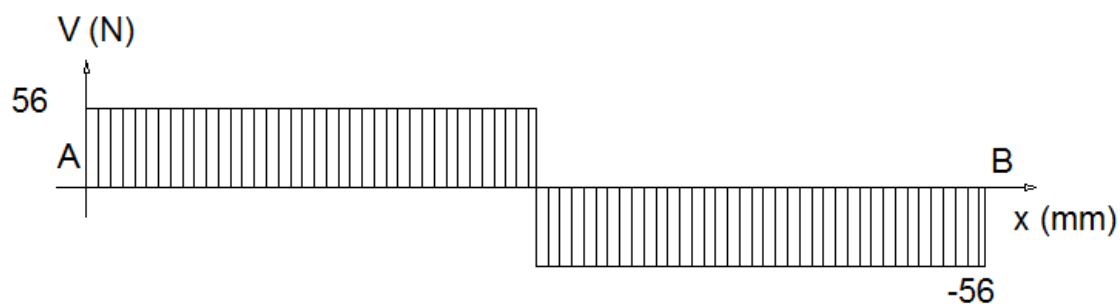


Figura 5.24. Diagrama de fuerza cortante.

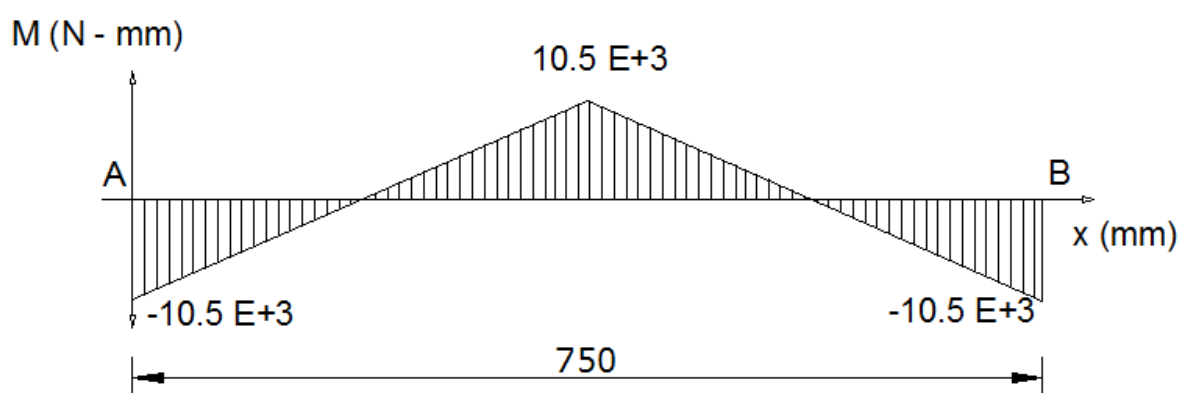


Figura 5.25. Diagrama de momento flector.

Carga puntual donde se producen  $V_{A-\text{Minimo}}$  y  $M_{A-\text{Minimo}}$ .

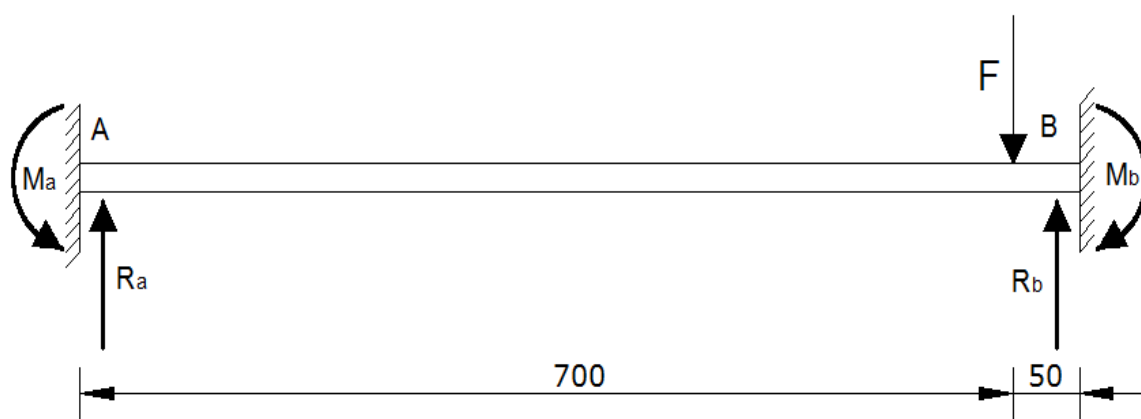


Figura 5.26. Diagrama cuerpo libre eje.

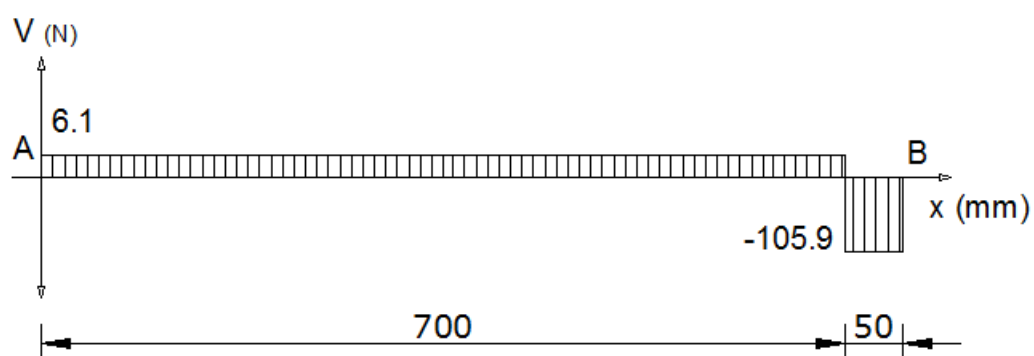


Figura 5.27. Diagrama de fuerza cortante.

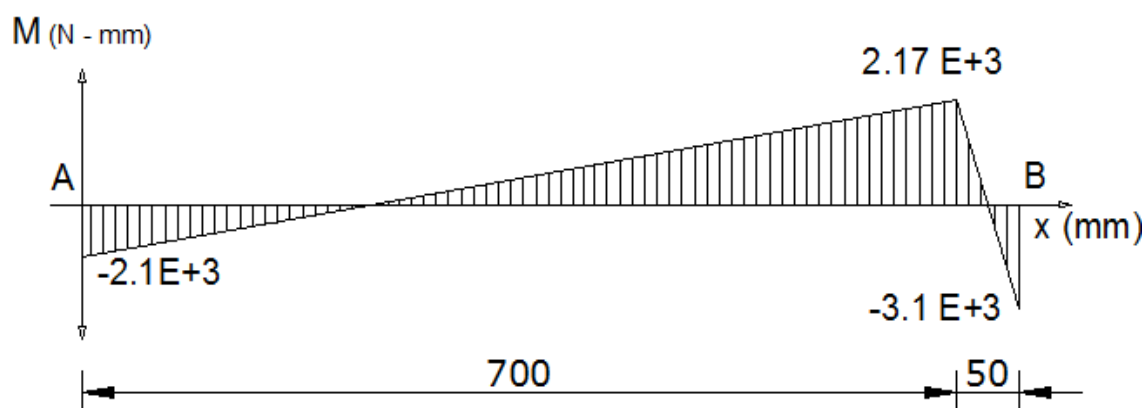


Figura 5.28. Diagrama de momento flector.

Carga por el peso propio del eje.

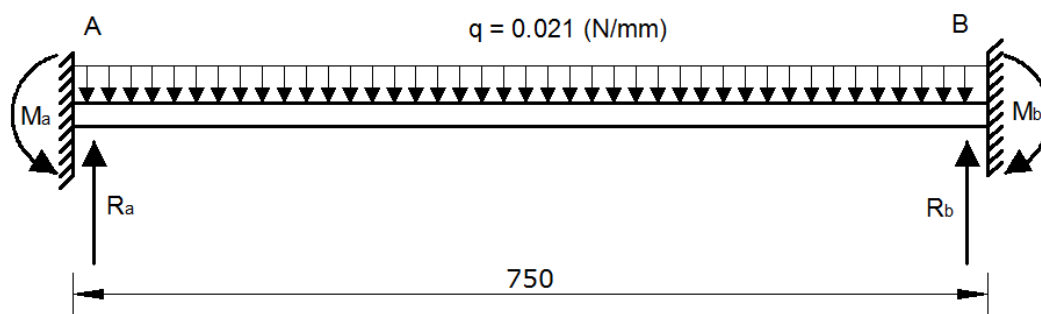
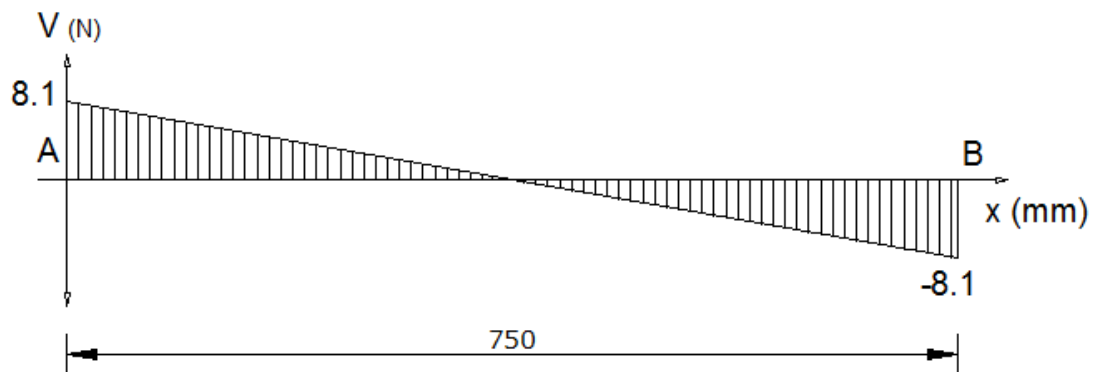
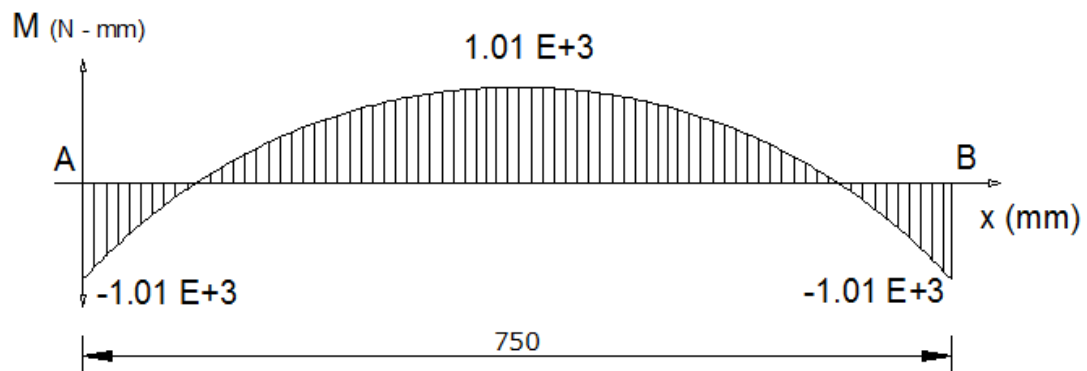


Figura 5.29. Diagrama de cuerpo libre del eje.



**Figura 5.30. Diagrama de fuerza cortante.**



**Figura 5.32. Diagrama de momento flector.**

Se calcula las cargas máximas en el punto A:

$$\sum V_A = (56 + 8.1) = 64.1(N)$$

$$V_{A-Maximo} = 64.1(N)$$

$$\sum M_A = (10.5 + 1.01) * 10^3 = 11.51 * 10^3 (N - mm)$$

$$M_{A-Maximo} = 11.51 * 10^3 (N - mm)$$

Se calcula las cargas mínimas en el punto A:

$$\sum V_A = (6.1 + 8.1) = 14.2(N)$$

$$V_{A-Minimo} = 14.2(N)$$

$$\sum M_A = (2.1 + 1.01) * 10^3 = 3.11 * 10^3 (N - mm)$$

$$M_{A-Minimo} = 3.11 * 10^3 (N - mm)$$

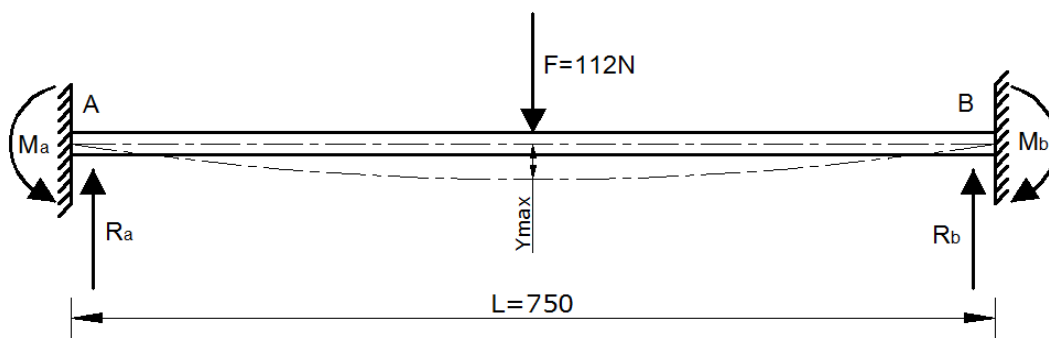
## DEFLEXIÓN [2][17].

Este criterio de diseño es importante ya que la deflexión que se produce en los ejes por efecto de la aplicación de las cargas más graves debe ser mínimo, debido a que el cargador en el proceso de distribución de la tinta, y el racle, en el proceso de impresión, deben trabajar en forma continua y de manera uniforme a todo lo largo de la impresión. De no ocurrir esto, el racle descendería en forma considerable en su recorrido medio por efecto de una flecha mayor, y, como consecuencia, se produciría una impresión defectuosa y un atascamiento en el recorrido del soporte de impresión y cargado.

La distancia que se considera como referencia para estimar un valor máximo de deformación, es la separación que debe existir entre el tamiz y la superficie de impresión. El valor recomendado es de 2 a 2.5 mm [9]; por lo que, si se considera un valor promedio como el adecuado de 2.25 mm, la deformación máxima no debe exceder de 0.25 mm, para no llegar al valor mínimo recomendado de 2 mm, que garantiza una impresión adecuada.

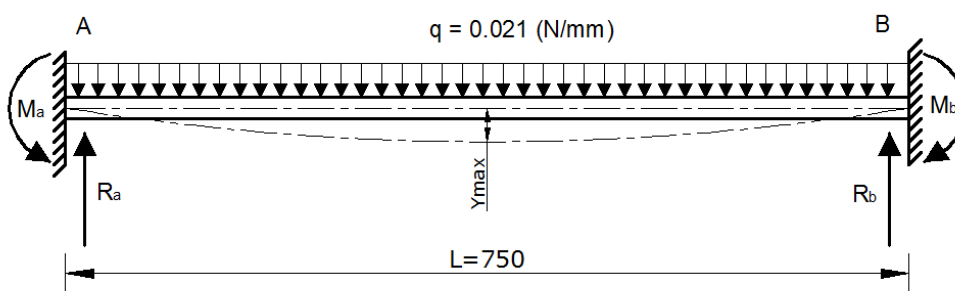
De las consideraciones, antes descritas, se parte para seleccionar el diámetro del eje adecuado.

La deformación máxima esta definida por la acción de una carga puntual en su punto medio y una carga distribuida:



**Figura 5.33. Deflexión, carga puntual.**

$$Y_{\max} = \frac{F * L^3}{192 * E * I} \quad (5.13)$$



**Figura 5.34. Deflexión, carga distribuida.**

$$Y_{\max} = \frac{q * L^4}{384 * E * I} \quad (5.14)$$

donde:



$Y_{\max}$  = Deflexión máxima.

$F = 112 \text{ N}$  (Carga puntual que actúa sobre el eje).

$q = 0,021 \text{ N/mm}$  (Peso propio del eje).

$L = 750 \text{ mm}$ .

$E = 0,207 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$  (Modulo de elasticidad del acero).

$I = \pi \cdot d^4 / 64$  (Sección circular).

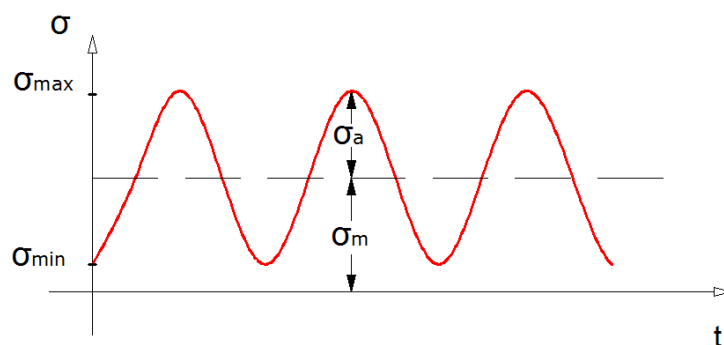
$$Y_{total} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} + \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \left( \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E} + \frac{q \cdot L^4}{384 \cdot E} \right) \cdot \frac{64}{\pi \cdot d^4}$$

de donde:

$$d = \sqrt[4]{\frac{24222.3}{Y_{total}}} = \sqrt[4]{\frac{24222.3}{0.25}} = 17.64 \text{ mm}$$

Las barras de acero que se encuentran en el mercado con más facilidad, y que cumplen esta condición, son las de diámetro  $3/4'' \approx 19.05 \text{ mm}$ . Este diámetro cumple con las condiciones o con los límites de deformación aceptables.

### COMPROBACIÓN DE LOS EJES A FATIGA [1][2].



**Figura 5.35. Esfuerzos fluctuantes.**

En la Fig.5.35, se puede apreciar la fluctuación de los esfuerzos.

Las propiedades mecánicas del eje seleccionado de acero SAE 1018 son [2]:

$$S_Y = 31 \left( \frac{Kg}{mm^2} \right) = 303.8 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$S_{ut} = 45 \left( \frac{Kg}{mm^2} \right) = 441 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

De la fluctuación de las cargas se tiene:

$$M_m = 7.31(N - m)$$

$$M_a = 4.2(N - m)$$

$$V_m = 39.15(N)$$

$$V_a = 25(N)$$

Por lo tanto:

$$\sigma_m = \frac{M_m * c}{I} = \frac{32 * 7.31}{\pi * 0.01905^3} = 10.8 M \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$\sigma_a = \frac{M_a * c}{I} = 6.2 M \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$\tau_m = \frac{V_m}{A} = \frac{4 * 39.15}{\pi * 0.01905^2} = 140 K \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$\tau_a = \frac{V_a}{A} = 87.63 K \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

Los esfuerzos equivalentes según Von Mises serán:

$$\sigma_{Eq.m} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3*\tau_m^2} = \sqrt{(10.8 \times 10^6)^2 + 3*(140 \times 10^3)^2} = 10.803 \text{ M} \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$\sigma_{Eq.a} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3*\tau_a^2} = \sqrt{(6.2 \times 10^6)^2 + 3*(87.63 \times 10^3)^2} = 6.202 \text{ M} \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

Determinación del límite de fatiga.

Los coeficientes modificativos del límite a fatiga para el eje son:

$k_a$  = Factor de acabado superficial = 1 para pulido.

$k_b$  = Factor de tamaño:  $k_b = 1.189 * d^{-0.112} = 1.189 * 19.05^{-0.112} = 0.855$

$k_c$  = Factor de confiabilidad = 0,82 para una confiabilidad del 99%.

$k_d$  = Factor de temperatura:  $k_d = 1$

$k_e$  = Factor de concentración de esfuerzos:

$$k_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{1 + (1.95 - 1) * 0.7} = 0.65$$

$k_g$  = Factores diversos:  $k_g = 1$

Luego, según la ecuación 5.22 el límite a fatiga será:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_g * 0,5 * S_{ut}$$

$$S_e = 100.5 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

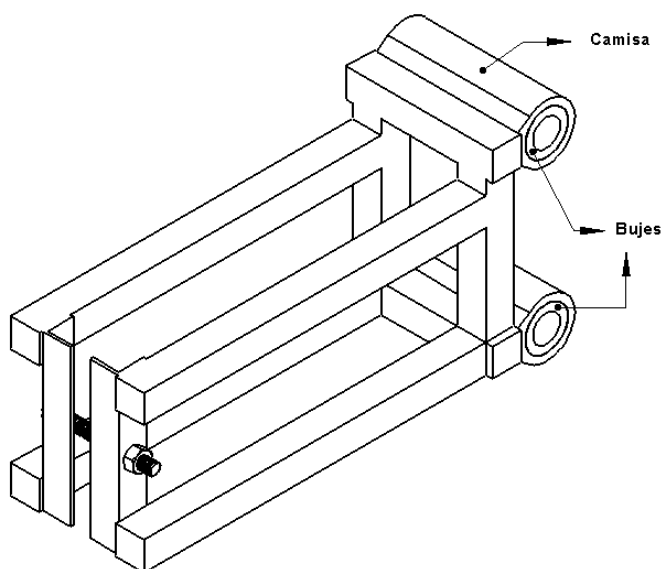
El criterio de Soderberg (ecuación 5.24), indica un coeficiente de seguridad de:

$$n = \frac{1}{\left( \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_Y} \right)} = 10,3$$

El factor de seguridad obtenido es elevado, si embargo, ya que con un eje de 19.05 mm. de diámetro, la deformación es mínima; este parámetro indica la elección final de los ejes.

#### 5.1.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BUJES DE LOS EJES DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL.

Para el dimensionamiento de los bujes de desplazamiento horizontal (que sirven como medio para que el dispositivo de impresión se desplace de mejor manera, es decir, con un mínimo de fricción y desgaste), se utiliza bujes de nylon, debido a su gran disponibilidad y características, tales como: alta resistencia en comparación a su peso, lubricidad, y su bajo costo.



**Figura 5.36. Bujes para el desplazamiento del soporte de cargado e impresión.**

Los bujes son elementos expuestos a trabajo mecánico continuo, lo que produce un mayor desgaste. Se deberán sustituir por unos nuevos cuando el desgaste sea notorio y afecte la precisión de la impresión. Su bajo costo y disponibilidad permitirán su fácil remplazo. En la Fig. 5.36, se puede apreciar la disposición de los bujes.

### 5.1.2.3 SELECCIÓN DEL MOTOR, PIÑÓN Y LA CREMALLERA.

El desplazamiento horizontal del dispositivo de impresión es realizado por un mecanismo piñón y cremallera. Para la selección de estos elementos, el aspecto más importante a considerar es la velocidad a la que el soporte de cargado e impresión debe desplazarse, para que el proceso de distribución de la tinta y posterior impresión se desarrolle de mejor manera.

#### 5.1.2.3.1 SELECCIÓN DEL MOTOR.

La fuerza necesaria para que el dispositivo se desplace sin ninguna dificultad, con la velocidad adecuada y de forma continua, es proporcionada por un motor de corriente continua.

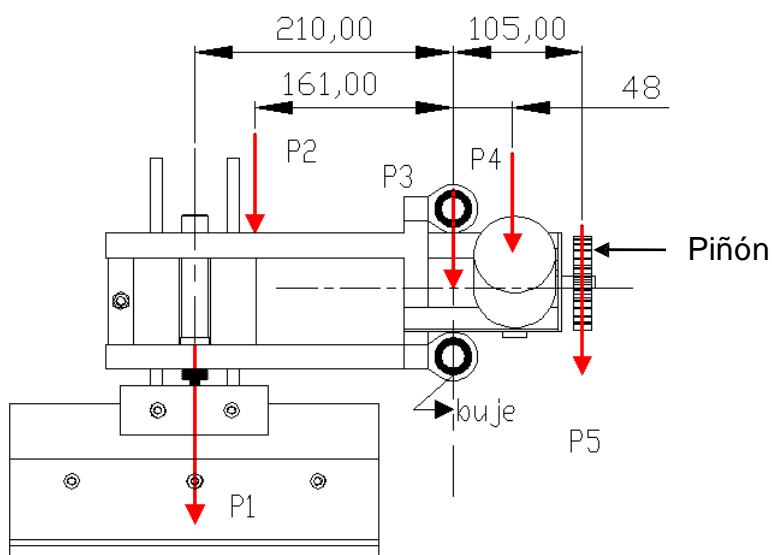
La fuerza tangencial que el motor debe vencer por medio del piñón, es igual a la suma de la fuerza de rozamiento entre el racle y la seda, más la fuerza de rozamiento producida entre los bujes y los ejes.

$$F_t = Fr_{racle-seda} + Fr_{bujes-ejes} \quad (5.15)$$

$$F_t = 2,72Kg + \mu * N$$

### Cálculo de la fuerza normal.

En la Fig. 5.37, se pueden apreciar las cargas que actúan sobre los ejes, y por ende, las fuerzas que actúan sobre los bujes, donde:



**Figura 5.37. Cargas sobre los ejes.**

$$P_1 = P_{dispositivo.C.P.} = 5,22Kg$$

$$P_2 = P_{soporte} = 1,5Kg$$

$$P_3 = P_{camisas} = 2,1Kg$$

$$P_4 = P_{motor} = 1,5Kg$$

$$P_5 = P_{piñon} = 0,5Kg$$

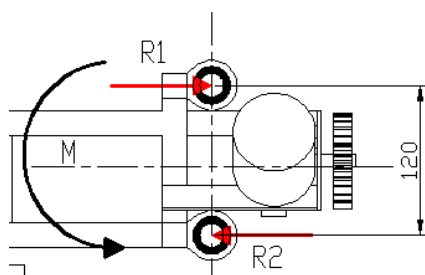
por lo que:

$$\sum F_y = 5,22 + 1,5 + 2,1 + 1,5 + 0,5 = 11Kg$$

$$\sum F_x = R_1 + R_2 = 0; R_1 = R_2$$

De la sumatoria de momentos con respecto a los bujes, resulta:

$$M = 5,22 * 21 + 1,5 * 16,1 - 1,5 * 4,8 - 0,5 * 10,5 = 121.32 \text{ Kg} - \text{cm}$$



**Figura 5.38. Reacciones sobre los ejes.**

por lo tanto:

$$R_1 = 10,11Kg$$

La fuerza resultante que se ejerce en cada buje es:

$$F_y = \frac{11}{2} Kg \approx 6Kg$$

$$F_x = 10Kg$$

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{10^2 + 6^2} \approx 12Kg$$

El coeficiente de fricción es:  $\mu = 0,34$  ; para superficies secas [2].

$$Fr_{bujes-ejes} = 0.34 * 12 = 4.1 \text{ Kg}$$

por lo que:

$$F_t = Fr_{racle-cedad} + Fr_{bujes-ejes} = 10.92 \text{ Kg} = 107 \text{ N}$$

#### 5.1.2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR SELECCIONADO.

El motor seleccionado funciona con corriente continua a 24 voltios. Los datos de funcionamiento a carga se obtuvieron mediante pruebas realizadas en el laboratorio. La eficiencia de un motor de estas características oscila entre el 60% y el 80% aproximadamente, en la selección se usa una eficiencia del 65 % para mayor seguridad.

La velocidad angular con una carga de 110 N, es de 3,6 rad/seg, a 24 voltios y una intensidad de 3,5 amperios.

La potencia eléctrica del motor es:

$$P_{ELEC.} = V * I = 0,084 \text{ KW} = 0,113 \text{ HP} \quad (5.16)$$

La potencia disponible en el eje del motor es:

$$P = P_{ELEC.} * \eta = 0,113 * 0,65 = 0,07345 \text{ HP}$$

La potencia mecánica requerida para cumplir con las condiciones de diseño establecidas es:

$$Pot = \frac{F_t * V}{33000} \quad (5.17)$$



$$Pot = \frac{24.1 * 25.58}{33000} = 0.0187 \text{ HP}$$

El motor seleccionado cumple sobremanera, con a la potencia requerida.

### **SELECCIÓN DEL PIÑÓN Y LA CREMALLERA [2][3].**

De la realización de pruebas, del motor seleccionado con carga, se puede observar, que la velocidad angular bajo estas condiciones, es de 3,6 rad/s. Este parámetro permite determinar el diámetro del piñón, para obtener la velocidad lineal requerida que es de 13 cm. /s. Esta velocidad garantiza una impresión de buena calidad.

$$v = w * r \quad (5.18)$$

de donde:

$$r = \frac{13 \text{ cm/s}}{3.6 \text{ rad/s}} = 3.61 \text{ cm}$$

Se selecciona un piñón con un diámetro de paso, de 9 cm.

Como se dispone de una cremallera de acero, la cual tiene un módulo de 3 clase basta [2] y un ancho de cara de 1.5 cm, se procede a determinar los datos necesarios para la construcción del piñón, el cual debe tener un modulo de 3 clase basta y un diámetro de paso de 9 cm.

El número de dientes del piñón es:

$$m = \frac{d}{N} \quad (5.19)$$

$$N = \frac{d}{m} = \frac{90}{3} = 30 \text{ diente}$$

### Comprobación del piñón [1]:

Las propiedades mecánicas del piñón de acero AISI 1020 son [1]:

$$S_y = 210 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$$S_{ut} = 380 * 10^6 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

El factor de velocidad es:

$$K_v = \frac{6,1}{6,1 + v} = 0,97$$

El factor de forma tiene un valor de:

$$Y = 0,359$$

El esfuerzo de flexión que deben soportar los dientes del piñón es:

$$\sigma = \frac{W_t}{K_v * F * m * Y} = 7,02 * 10^6 \frac{N}{m^2} \quad (20)$$

Por lo que:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = 30$$

El piñón soporta sobremanera las cargas a las que se expone.

#### 5.1.2.4 DISEÑO DE LOS EJES PRINCIPALES DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL.

Para determinar el diámetro de los ejes que sirven como guías para que el dispositivo de impresión y sujeción del marco se desplace en forma vertical, se requiere conocer el peso de todas las partes que conforman el dispositivo de cargado e impresión y el mecanismo de posicionamiento del marco.

En la Tabla 5.2, se puede apreciar los pesos de cada uno de los elementos que conforman el dispositivo de cargado e impresión indicados en la Fig. 5.1.

**TABLA 5.2. PESOS DE LOS ELEMENTOS DEL DISPOSITIVO DE IMPRESIÓN.**

Cálculo de los pesos			
Dispositivo de carga do e impresión			
Elementos	Peso por elemento	# de elementos	Peso total
	(kg)	(#)	(kg)
Ejes	0,10	4	0,41
Bujes	0,01	4	0,05
Racle	1,26	1	1,26
Sujetador racle	0,27	1	0,27
Cargador	0,50	1	0,50
Sujetador cargador	0,27	1	0,27
Soporte 1	1,25	1	1,25
Cilindros.	0,28	2	0,57
Pernos	0,08	8	0,64
<b>Total</b>			<b>5,22</b>

En la Tabla 5.3, se puede apreciar los pesos de cada uno de los elementos del mecanismo de posicionamiento del marco indicados en la Fig. 5.21.

TABLA 5.3. PESOS DE LOS ELEMENTOS DEL DISPOSITIVO DE POSICIÓN

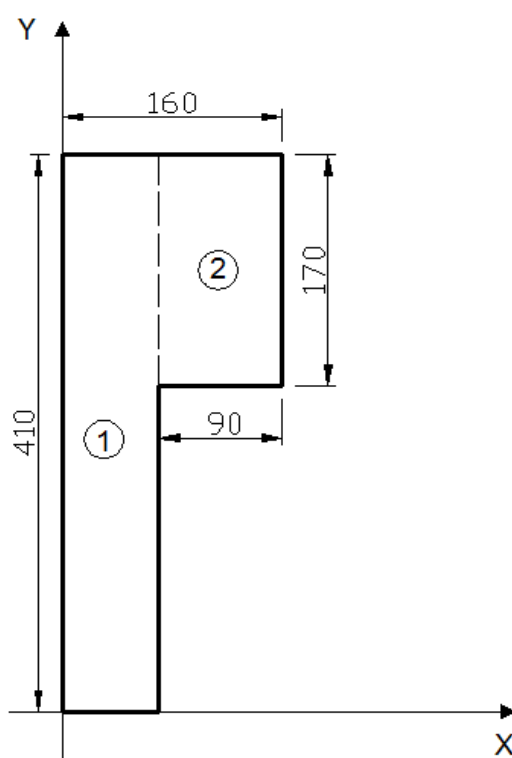
Cálculo de los pesos			
Dispositivo de posicionamiento del marco			
Elementos	Peso calculado	# de elementos	Peso total
	(kg)	(#)	(kg)
Soporte 2	1,54	1	1,5
Placas	1,00	2	2,0
Correa	4,60	1	4,6
Ejes	1,65	2	3,3
Bujes	0,09	2	0,2
Camisas	1,05	2	2,1
Motor	1,50	1	1,5
Piñón	0,50	1	0,5
Cremallera	1,00	1	1,0
Pernos	0,10	10	1,0
Tuercas	0,10	16	1,6
Marco	3,00	1	3,0
Tubo rectangular	2,20	1	2,2
Guía sujet. marco	1,20	2	2,4
Sujet. marco	1,50	2	3,0
<b>Total</b>			<b>29,9</b>

### CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE LOS EJES.

Los únicos elementos de geometría irregular son las placas. Por lo que, es necesario la determinación de su centroide.

$$X_{placa} = \frac{\sum A * X}{\sum A} = \frac{(7 * 41 * 3,5) + (9 * 17 * 11,5)}{(7 * 41) + (9 * 17)} = 6,28cm \quad (5.21)$$

$$Y_{placa} = \frac{\sum A * Y}{\sum A} = \frac{(7 * 41 * 20,5) + (9 * 17 * 32,5)}{(7 * 41) + (9 * 17)} = 24,67cm \quad (5.22)$$



**Figura 5.39. Placa.**

En la Fig. 5.40, se puede apreciar las cargas que actúan sobre el eje guía vertical.

$$P_1 = P_{\text{sistema-1}} + P_{\text{sujetador marco}} + P_{\text{marco}} = 11,22Kg$$

$$P_2 = P_{\text{soporte-2}} = 1,5Kg$$

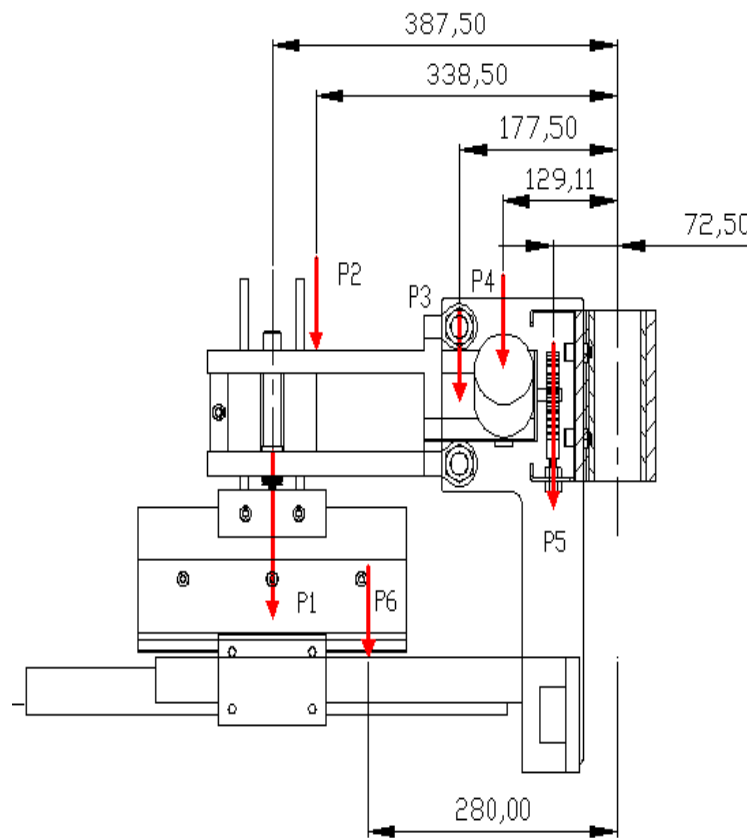
$$P_3 = P_{\text{ejes}} + P_{\text{bujes}} + P_{\text{camisas}} + P_{\text{tuercas}} = 7,2Kg$$

$$P_4 = P_{\text{motor}} = 1,5Kg$$

$$P_5 = P_{\text{piñon}} + P_{\text{cremallera}} + P_{\text{correa}} + P_{\text{tubo}} = 8,3Kg$$

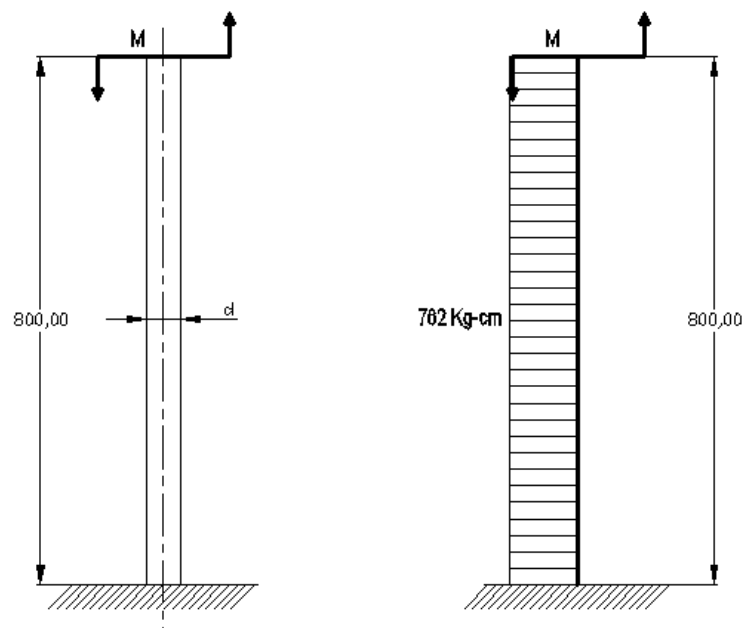
$$P_6 = P_{\text{guía}} = 2,4Kg$$

$$\sum M = 11,22 * 38,8 + 1,5 * 34 + 7,2 * 17,8 + 1,5 * 13 + 8,3 * 7,3 + 2,4 * 28 = 762Kg - cm$$



**Figura 5.40. Diagrama de cargas.**

Diagrama de momento flector:



**Figura 5.41. Diagrama de momento flector.**

## DISEÑO DE LOS EJES A DEFLEXIÓN [1][2].

El modelo es de una viga en voladizo, con un momento aplicado en su extremo.

En la construcción de máquinas, la flecha debe oscilar entre [17]:  $(1/1000 \text{ a } 1/3000) * L$

$$Y_{\max} = \frac{M_B * L^2}{2 * E * I} \quad (5.23)$$

donde:

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$E = 207GPa = 2,07 \times 10^6 \frac{Kgf}{cm^2}$$

Como son dos ejes,  $M_B$  se divide para 2:

$$M_B = \frac{762Kgf - cm}{2} \approx 400Kg - cm$$

$$L = 800 \text{ mm}$$

$$Y_{\max} = \frac{L}{3000} = \frac{800}{3000} = 0,26mm$$

así que:

$$d = \sqrt[4]{\frac{M_B * L^2 * 64}{2 * E * \pi * Y_{\max}}} = \sqrt[4]{\frac{400 * 80^2 * 64}{2 * 2,07 \times 10^6 * \pi * 0,026}} = 4,6 \text{ cm}$$

El valor de  $Y_{\max}$  fue tomado considerando la mínima deformación, lo que ayudaría a mejorar la precisión y rigidez de nuestro sistema de impresión.

El diámetro del eje más cercano que se encuentra en el mercado es el de  $2" \approx 50,8 \text{ mm}$ , con un eje de esta medida se tiene:

$$I = \frac{\pi * 5,08^4}{64} = 32,7 \text{ cm}^4$$

$$Y_{\max} = \frac{400 * 80^2}{2 * 2,07 \times 10^6 * 32,7} = 0,02 \text{ cm} = 0,2 \text{ mm}$$

## COMPROBACIÓN DEL EJE.

Los ejes utilizados para el desplazamiento vertical del mecanismo de posicionamiento del marco, están expuestos a una carga constante durante el proceso de impresión.

$$\sigma_f = \frac{32 * M}{\pi * d^3} = \frac{32 * 400}{\pi * 5,08^3} = 31 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

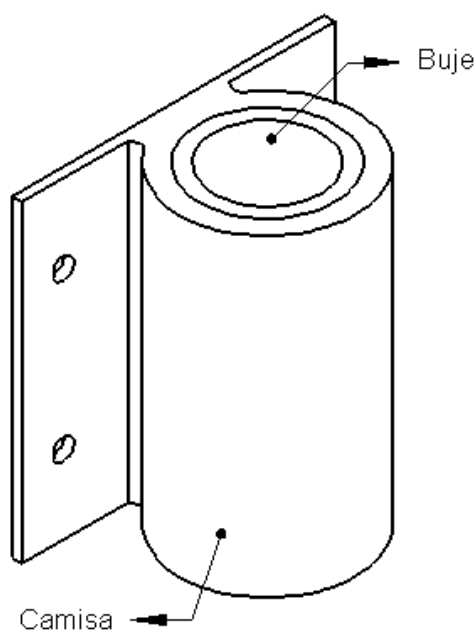
$$\sigma_{Eq} = 31 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$



$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} = \frac{3100}{31} = 100$$

### 5.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS BUJES DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL [2].

Para el dimensionamiento de los bujes de desplazamiento vertical que sirven como medio para que el soporte de cargado e impresión se desplace de mejor manera, con un mínimo de fricción y desgaste, se utiliza bujes de nylon. En la Fig. 5.41, se puede apreciar la disposición de los bujes.



**Figura 5.41. Bujes.**

Las propiedades mecánicas del nylon son [2]:

$$S_{ut} = 76 \text{ MPa}$$

En los polímeros dúctiles, la resistencia a la rotura es mayor que la resistencia a la fluencia en un factor de 1.1 a 4. Si este factor se toma como 2.5, se tiene [2]:

$$S_y = 30 \text{ MPa}$$

La comprobación de los bujes seleccionados se realiza en base a la teoría de los cilindros a presión. Debido a que la razón, entre el diámetro interior del cilindro y su espesor, es menor que 40, se realiza el análisis como cilindros de pared gruesa:

$$\frac{d_i}{t_h} < \frac{50,8}{7,1} = 7,15 < 40$$

Tolerancia y ajuste [2].

El acople del buje y la camisa se lo realizó por medio de un ajuste clase 7, el cual, establece una interferencia ( $\delta$ ) y tolerancia de la camisa ( $t_C$ ) y el eje ( $t_E$ ) de:

$$\delta = 0,0005 * d = 0,0325 \text{ mm}$$

$$t_C = 0,0052 d^{1/3} = 0,0052 * (65)^{1/3} = 0,0209 = t_E$$

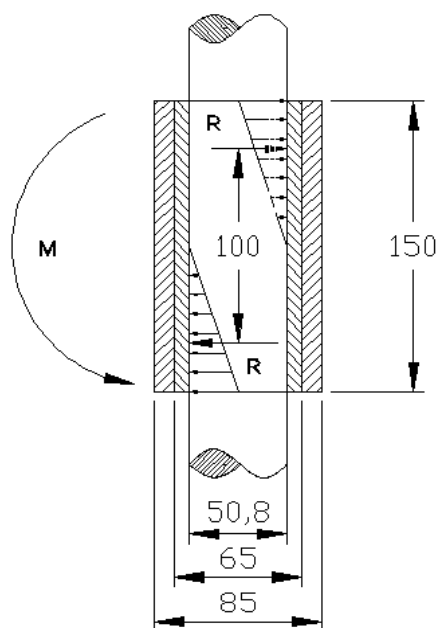
Los diámetros máximo y mínimo del buje y la camisa según la interferencia y tolerancias calculadas son:

**TABLA 5.4. DIAMETROS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA CAMISA Y EL BUJE**

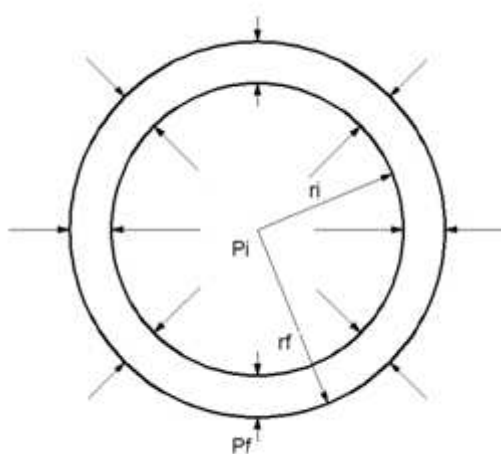
Tipo de ajuste	Diámetro de la camisa		Diámetro del buje	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Interferencia	65,021	65,000	65,053	65,033

### CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE EL BUJE.

En la Fig. 5.42, se puede apreciar el diagrama que sirve de base para determinar la carga interna que soporta el buje.



(a)



(b)

Figura 5.42. Diagrama de cuerpo libres del buje.

### Presión interna [2].

En el diseño de los ejes guías verticales se calcula la carga que deben soportar para el desplazamiento vertical del mecanismo de posicionamiento del marco, esta carga también es la que actúa sobre los bujes de nylon.

$$M = 762 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Ya que son dos ejes los que sirven como guía para el sistema de desplazamiento, serán dos los bujes sobre los que actúe la carga, así que:

$$M = \frac{762}{2} \text{ Kg} - \text{cm} = 381 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Si se asume que los bujes soportan la carga como se indica en la Fig. 5.42. (a), y que la fuerza actúa sobre la mitad del buje como una carga distribuida triangularmente se tiene:

$$M = R * d$$

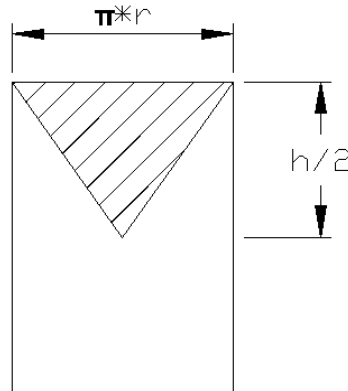
$$R = \frac{M}{d} = \frac{381}{10} = 38,1 \text{ Kg}$$

Como se puede apreciar en la Fig. 5.42, la presión interna no se distribuye de forma uniforme, al contrario su distribución es triangular en forma axial y radial, por este motivo se asume un área triangular como se indica en la Fig. 5.43, sobre la cual actúa la fuerza.

por lo tanto:

$$Area = \frac{\pi * r * h}{2} = 30 cm^2$$

$$P_i = \frac{R}{\dot{Area}} = \frac{38,1}{30} = 1,3 \frac{Kg}{cm^2} = 130000 \frac{N}{m^2}$$



**Figura 5.43. Área triangular sobre la que actúa la fuerza.**

#### **Presión externa [2].**

Si se asume que el único elemento que se deforma es el buje, ya que, la resistencia del material del que está constituido (nylon) es considerablemente menor al del material de la camisa (acero), la deformación radial total estará dada por la interferencia producida por el tipo de ajuste seleccionado, es decir:

$$\delta = \delta_B = 0,0325 \text{ mm}$$

$$\delta_B = \frac{r_f * P_f}{E_B} \left[ \frac{r_f^2 + r_i^2}{(r_f^2 - r_i^2)} - \nu_B \right] \quad (5.23)$$

donde:

$\delta_B$  = Desplazamiento radial del buje.

$r_f$  = Radio exterior del buje = 32.5 mm.

$P_f$  = Presión externa del buje.

$r_i$  = Radio interior del buje = 25.4 mm.

$E_B$  = Módulo de elasticidad buje:  $E_b = 3.79$  GPa.

$\nu_B$  = Razón de Poisson material del buje = 0,4.

Con estos datos y la ecuación (5.23), se tiene:

$$37.9 \times 10^3 = P_f * \left[ \frac{0.0325^2 + 0.0254^2}{(4.1 \times 10^{-4})} - 0.4 \right]$$

$$P_f = 10100.7 \frac{N}{m^2}$$

Esfuerzo radial.

$$\sigma_r = \frac{P_i * r_i^2 - P_f * r_f^2 + (P_f - P_i) * \left( \frac{r_f * r_i}{r} \right)^2}{r_f^2 - r_i^2} \quad (5.24)$$

$$\sigma_r = \frac{130000 * 0.0254^2 - 10101 * 0.0325^2 + (10101 - 130000) * \left( \frac{0.0325 * 0.0254}{0.02895} \right)^2}{0.0325^2 - 0.0254^2}$$

$$\sigma_r = -59078.8 \frac{N}{m^2}$$

Esfuerzo tangencial.

$$\sigma_{\theta} = \frac{P_i * r_i^2 - P_f * r_f^2 - (P_f - P_i) * \left( \frac{r_f * r_i}{r} \right)^2}{r_f^2 - r_i^2} \quad (5.25)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{130000 * 0,0254^2 - 10101 * 0,0325^2 - (10101 - 130000) * \left( \frac{0,0325 * 0,0254}{0,02895} \right)^2}{0,0325^2 - 0,0254^2}$$

$$\sigma_{\theta} = 415213,1 \frac{N}{m^2}$$

De la aplicación de la teoría del esfuerzo cortante máximo, se tiene:

$$\sigma_{\theta} + \sigma_r = \frac{S_y}{n}$$

$$n = \frac{30 \times 10^6}{59078,8 + 415213,1} = 63$$

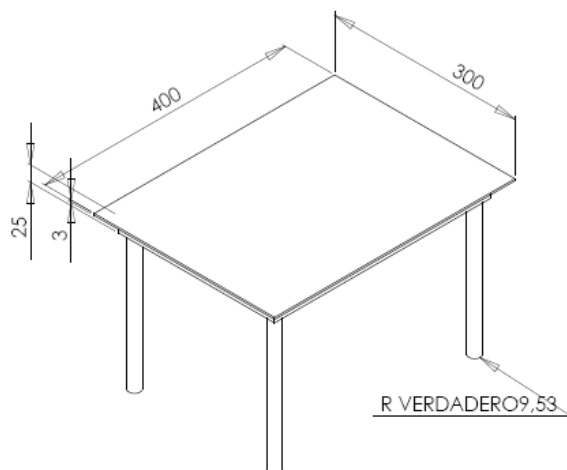
Esto indica que el buje puede soportar esfuerzos mucho mayores, que a los que aquí se producen.

#### 5.1.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN DE LA MESA MÓVIL [1][2][3].

El sistema de elevación de la mesa permite el posicionamiento de la superficie a imprimir a la distancia adecuada, dependiendo del espesor del objeto.

En la Fig. 5.44, se puede apreciar las dimensiones y la disposición de los ejes roscados utilizados para realizar el desplazamiento vertical. La fuerza necesaria

para producir el desplazamiento de los ejes y la mesa, se obtiene de un motor paso a paso, que transmite la fuerza a los tornillos por medio de un sistema de cadena-catalina.



**Figura 5.44. Mesa móvil.**

La carga que deben vencer los tornillos es el peso de la mesa de impresión, el estudio se realiza considerando la utilización de ejes roscados, debido a que son fáciles de encontrar en el mercado y sumamente económicos, en comparación con los de tornillos de potencia que se tendrían que construir.

El peso de la mesa, más, el peso del objeto a imprimir fueron obtenidos experimentalmente:

$$P_t = 10Kg$$

Este es el peso total que soportaran los cuatro ejes roscados que se utilizan. Se ocupan cuatro, debido a la rigidez que se requiere en la mesa para realizar una correcta impresión.



Para el estudio y comprobación del sistema de elevación de la mesa, se utiliza el eje roscado de las siguientes características:

$$\frac{7}{8} \text{ pulg} - 9UNC$$

Para realizar el análisis en cada uno de los ejes roscados; la carga total se divide para cuatro:

$$W = \frac{10}{4} Kg = 2,5 Kg$$

El torque necesario para la elevación de la carga, es [1][2]:

$$T = \frac{W * d_m}{2} * \left( \frac{\pi * \mu * d_m + L * \cos \alpha_n}{\pi * d_m * \cos \alpha_n - \mu * L} \right) + \frac{W * \mu_c * d_c}{2} \quad (5.26)$$

donde:

$T$  = Torque necesario para elevar la carga  $W$ .

$W = 2,5 Kg$  (Peso de la mesa y del objeto a imprimir).

$d_m = 20,5 mm$  (Diámetro medio o diámetro de paso).

$d_c = 6 cm$  (Diámetro medio del rodamiento).

$L = 2,82 mm$  (Paso).

$\mu = 0,08$  (Coeficiente de fricción tuerca perno).

$\mu_c = 0,09$  (Coeficiente de fricción del rodamiento).

$$\alpha_n = 30^\circ$$

$$T = \frac{(24,5N) * (20,5mm)}{2} * \left( \frac{\pi * 0,08 * 20,5mm + 2,82mm * \cos 30^\circ}{\pi * 20,5mm * \cos 30^\circ - 0,08 * 2,82mm} \right) + \frac{24,5N * 0,09 * 60mm}{2}$$

$$T = 101N - mm$$

Este es el torque necesario en cada perno. Para la selección del motor que se requiere en la elevación del sistema, el torque deberá multiplicarse por el número de ejes roscados utilizados en el sistema (es decir por 4).

$$T = 404N - mm$$

El momento para el descenso de la carga es:

$$T = \frac{W * d_m}{2} * \left( \frac{\pi * \mu * d_m - L * \cos \alpha_n}{\pi * d_m * \cos \alpha_n + \mu * L} \right) + \frac{W * \mu_c * d_c}{2}$$

Por lo que al reemplazar los datos:

$$T = 78 N - mm$$

Para comprobar el autoaseguramiento debe cumplirse que:

$$\pi * \mu * d_m \geq L * \cos \alpha_n$$

$$\pi * 0,08 * 20,5mm \geq 2,82mm * \cos 30^\circ$$

$$5,15mm \geq 2,44mm$$

Por lo tanto, la transmisión es autoblocante. Para el descenso de la mesa se requiere un torque de:

$$T = (78N - mm) * 4$$

$$T = 312N - mm$$

Eficiencia mecánica:

$$e = 100 * \frac{T_0}{T}$$

donde:

$$T_0 = \frac{W}{2} * \frac{L}{\pi} = 101N - mm$$

Por lo tanto la eficiencia mecánica es:

$$e = 100 * \frac{11}{101} = 11\%$$

## SELECCIÓN DEL MOTOR PASO A PASO.

El ascenso y descenso de la mesa móvil tiene que ejecutarse a baja velocidad, para poder calibrar la mesa de manera precisa. Por este motivo se seleccionó un motor de paso cuyas características más importantes son:

Voltaje = 5 v.

Intensidad = 2.2 A.

Torque = 9 Kg-cm = 882 N – mm.

$W = 16$  rev/min (velocidad angular).

Control de giro =  $0,5^\circ$

El torque disponible en el motor de paso se determinó experimentalmente en el laboratorio, y el torque mecánico requerido es  $T = 404N - mm$  (Par de torsión), por lo que se puede decir que el torque del motor es mayor al torque requerido.

### **CADENA Y CATALINAS SELECCIONADAS.**

La catalina motriz y las catalinas conducidas son iguales, ya que la velocidad del motor es la velocidad requerida para obtener un avance lento en la mesa, y se determinó que con una  $w = 16$  rev/min, se tiene un avance de 0,7 mm/seg.

Según el catalogo para la selección de cadenas [19], tabla C se recomienda que para una velocidad angular de 16 rev/min y una potencia menor a 1 HP, se seleccione una cadena AISI N° 40 aproximadamente, con un paso de  $\frac{1}{2}$ ", la cual tiene una capacidad de potencia transmisible de 0,44 HP en las condiciones de trabajo de la máquina [19], por lo que esta potencia es mucho mayor a la potencia de diseño, quedando justificada su selección, y siendo necesaria una lubricación manual. Otro factor de selección fue la disponibilidad en el mercado local a un precio cómodo.

Las catalinas seleccionadas tienen 20 dientes y un diámetro de paso de 6 cm.

### Selección de los rodamientos.

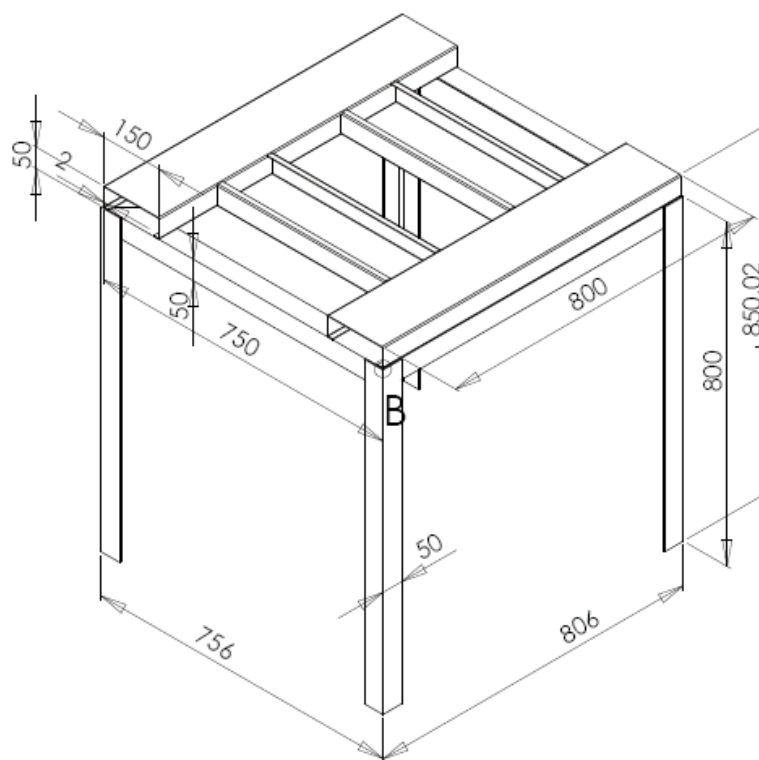
La elección de los rodamientos se realiza en base a la carga axial que deben soportar (carga sobre un eje roscado, 24,5 N). Por lo que se seleccionan rodamientos de bolas de 25 mm de diámetro interior y cuyas características más importantes son:

Diámetro exterior = 52 mm.

Ancho = 15 mm.

Capacidad de carga = 6,4 Kg.

#### 5.1.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA MESA PRINCIPAL.

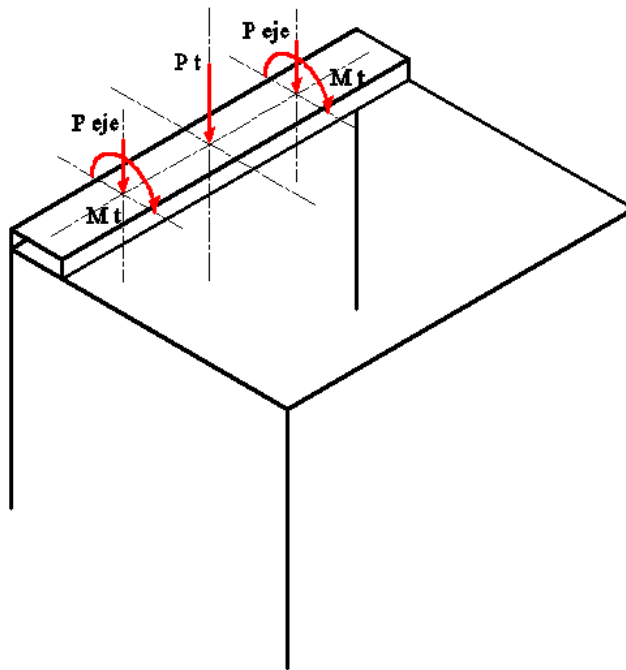


**Figura 5.45. Mesa principal.**

La mesa debe asegurar una buena estabilidad, es muy importante que la altura de la mesa sea la adecuada para que el operador realice el trabajo de manera cómoda y segura.

### Cargas que actúan sobre la mesa.

Para el diseño y selección de las partes de la mesa principal, se considera las cargas cargas indicaas en la Figura 5.46.



**Figura 5.46. Mesa principal.**

donde:

$P_t$  = Peso del cilindro neumático más la carga que debe vencer.

$$P_t = P_{DispositivoI} + P_{Cilindro}$$

$$P_t = 26,445Kg$$

Peje = Peso de los ejes para el desplazamiento vertical.

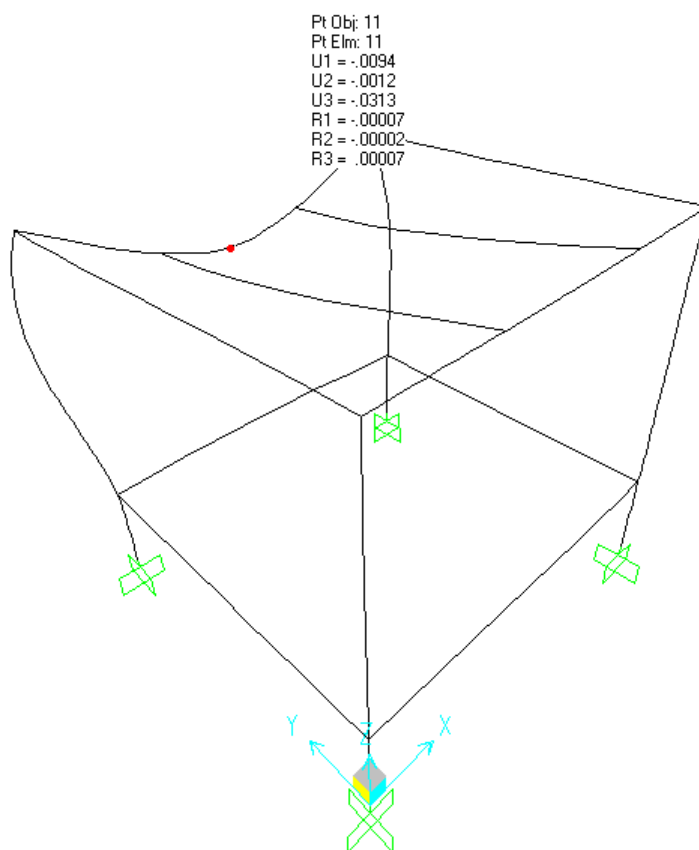
$$P_{Eje} = 7,6 \frac{Kg}{m}$$

$$P_{Eje} = 7,6 \frac{Kg}{m} * 1,138m = 8,64Kg$$

Mt = Momentos que produce el sistema de impresión, los cuales, son transmitidos a través de los ejes guías para el desplazamiento vertical.

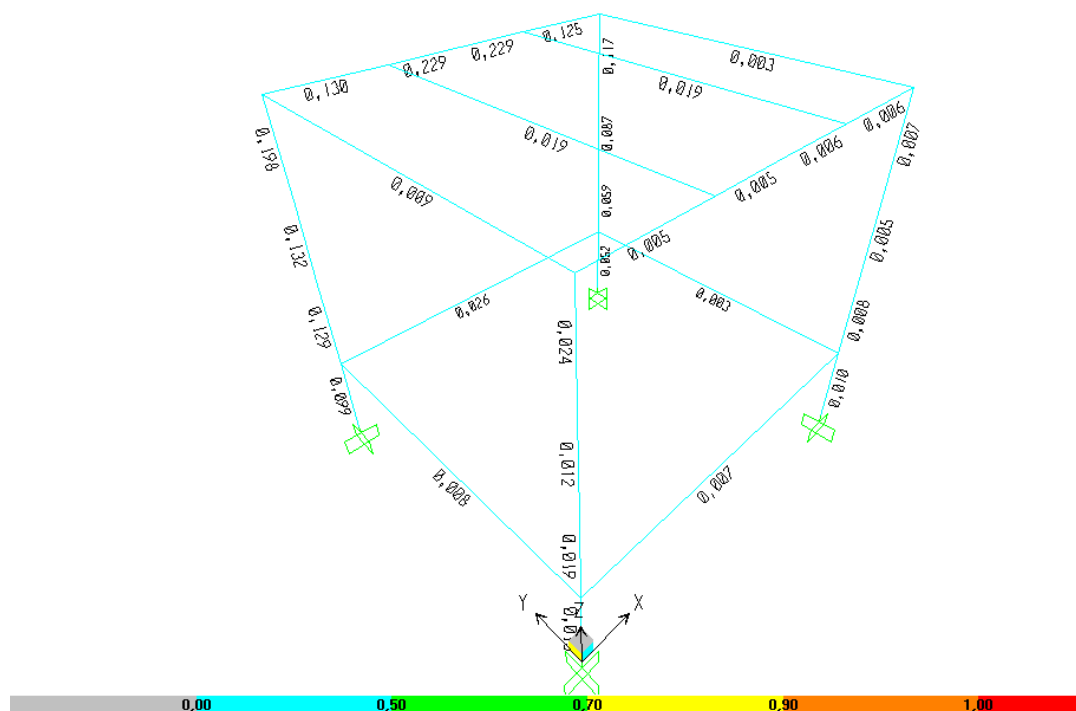
$$M_t = 291,5Kg - cm$$

El análisis de la estructura de la mesa principal se realiza con la ayuda del programa SAP 10.1, y los resultados se muestran a continuación.



**Figura 5.47. Deformación de la mesa principal.**

En la Fig. 5.47, se puede observar la deformación máxima producida de 0,3 mm. donde se apoya el cilindro principal el cual levanta todo el peso del mecanismo de impresión, y se considera a esta deformación aceptable.



**Figura 5.48. Relación de esfuerzos.**

En la Fig. 5.48, se muestra la relación de esfuerzos para los elementos de la mesa. Así también se puede ver que el mayor esfuerzo se produce en la correa que sostiene el peso y el momento de los ejes guías de desplazamiento vertical como también la carga puntual transmitida por cilindro principal a la mesa.

## 5.2. DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO.

Para el diseño del sistema neumático es necesario empezar estableciendo el número de actuadores (cilindros y generador de vacío); y la secuencia, en que



realizaran el trabajo de impresión. Con dichos parámetros se diseña el sistema neumático, para posteriormente seleccionar cada uno de los elementos necesarios en el proceso de impresión.

### **5.2.1 REQUERIMIENTOS FÍSICOS PARA PROYECTAR EL SISTEMA.**

La máquina tiene los siguientes movimientos lineales en el racle, el cargador y el mecanismo de posicionamiento del marco, para lo cual se requieren de cilindros neumáticos. La mesa necesita un generador de vacío para sujetar el papel.

La secuencia de movimientos es la siguiente: 1) El cargador baja a su punto muerto inferior, 2) El cargador sube a su punto muerto superior, 3) El racle baja a su punto muerto inferior, 4) El mecanismo de posicionamiento del marco baja a su punto muerto inferior, 5) Se acciona el sistema de succión, 6) Se apaga el sistema de succión, 7) El mecanismo de posicionamiento del marco sube a su punto muerto superior, 8) El racle sube a su punto muerto superior, y se repite el ciclo desde el punto 1.

#### **5.2.1.1 CARGA MÁXIMA DEL CILINDRO PRINCIPAL (CP).**

La fuerza que debe vencer el cilindro CP corresponde al peso total del dispositivo principal de impresión, cuyo valor es de 344 N., y que debe ser desplazado verticalmente 27 cm hacia su punto muerto superior (Carrera).

Para seleccionar el cilindro se utiliza una fuerza de 400 N, que corresponde al peso del sistema de impresión, más una carga adicional para asegurar la correcta

selección del cilindro.

#### **5.2.1.2 CARGA MÁXIMA QUE DEBEN VENCER LOS CILINDROS SECUNDARIOS (CC, CP).**

La carga del cilindro del cargador (CC), es la fuerza necesaria para desplazar el cargador sobre la malla. La presión que el cargador ejerce sobre la malla es leve, para que la tinta se distribuya de manera adecuada. El vástago del cilindro debe desplazarse una distancia de 5 cm (carrera).

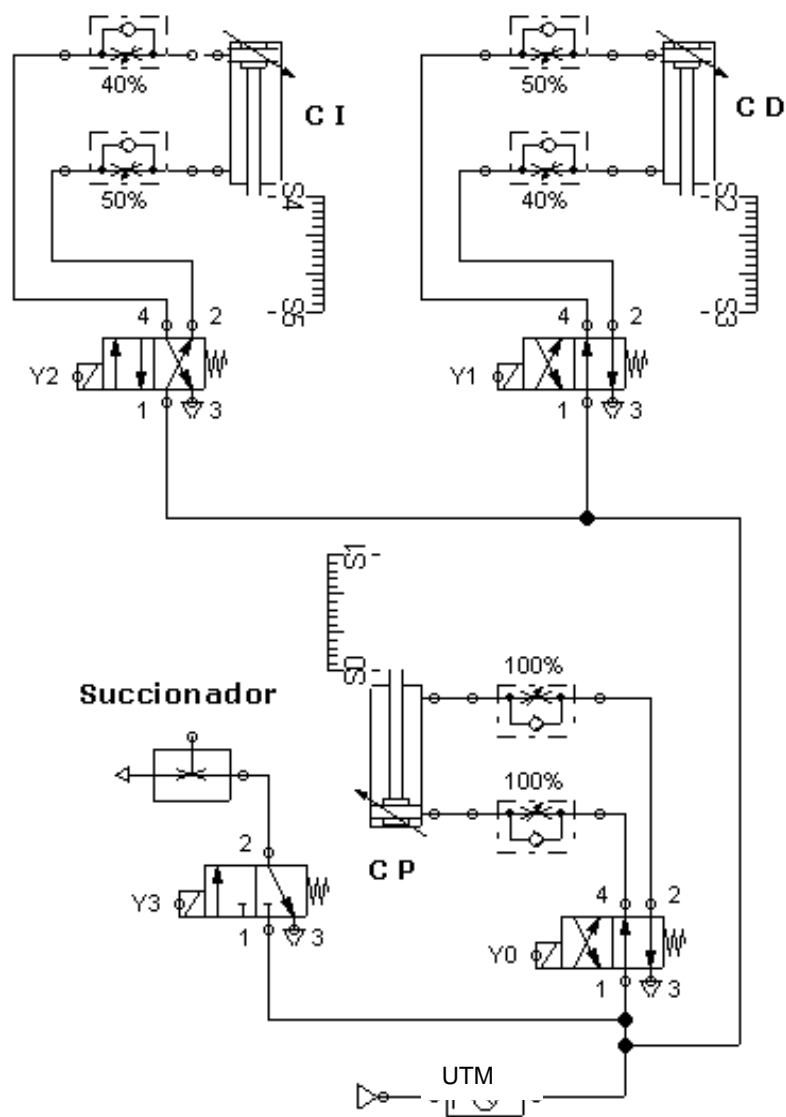
La carga que debe vencer el cilindro de impresión (CI), corresponde a una fuerza mucho mayor que la fuerza de cargado. Esta fuerza debe ejercerse por medio del racle a la seda para que se produzca la impresión. Su valor empírico es de alrededor de 2 Kg (valor medido experimentalmente), la forma en que se obtuvo se detalla en el capítulo 4, Fig.4.3. La carrera del cilindro para que trabaje adecuadamente es de 5 cm. (carrera).

#### **5.2.2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA NEUMÁTICO**

En el siguiente esquema se presentan el funcionamiento del sistema neumático y se muestran los elementos que permiten su correcto funcionamiento.

En la Fig. 5.49, se observa como primer elemento la unidad técnica de mantenimiento (UTM), la cual es la encargada de acondicionar el aire que circulara por el sistema, luego tenemos tres derivaciones, la primera derivación, conduce el aire a la electroválvula direccional Y0 la cual es la encargada de

accionar el cilindro principal CP, este cilindro consta de dos válvulas reguladoras de caudal que permiten regular la velocidad del cilindro. La segunda derivación es dividida en dos sub derivaciones, que se acoplan a las electroválvulas Y1 y Y2, estas a su vez comandan a los dos micro cilindros CI y CC que son los cilindros de la impresión y el cargado, cada cilindro tiene dos válvulas reguladoras de caudal las que permiten controlar la velocidad del actuador. La tercera derivación está acoplada a la electroválvula Y3 la cual es la encargada de accionar el generador de vacío.



**Figura 5.49. Esquema neumático.**

### 5.2.3 SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS [11].

Para la selección de los actuadores se toma como referencia el catálogo de productos BIMBA, debido a su disponibilidad en el mercado y la conveniencia de los costos.

#### 5.2.3.1 CILINDRO PRINCIPAL (CP).

Procedimiento:

De la tabla FORCE/ROD BUCKLING CHARTS [11], se selecciona el cilindro más adecuado, considerando una relación adecuada entre seguridad y costo. El dato necesarios para seleccionar el cilindro son: la fuerza necesaria y la carrera efectiva.

De los cilindros disponibles en el catálogo se selecciona el que satisfaga una fuerza de 400N y una carrera de 270 mm, por lo que se escoge el **C-40-270-CB ISO 6431**, con las siguientes características:

donde:

C = Tipo de montaje.

40 = Diámetro interior de la camisa del cilindro mm.

270 = Carrera mm.

CB = Amortiguamiento en ambas cabeceras.

La presión requerida por el cilindro, para desarrollar una fuerza de 400 N en la

extensión, es de 3.2 Bares. Se considera únicamente la extensión, debido a que en la retracción, el peso del sistema de impresión ayuda a su descenso.

La carrera máxima permisible para el cilindro seleccionado es de 900 mm, sin que se produzca pandeo. Por lo tanto, el cilindro esta dentro de un rango aceptable de seguridad.

#### 5.2.3.1.1 CONSUMO DE CAUDAL DE AIRE [11].

El consumo de aire en la expansión y en la retracción esta dado por [11]:

$$Q = \left[ \frac{\pi * D^2}{4} + \left( \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} \right) \right] * h * p * 10^{-6} \quad (5.27)$$

donde:

$Q$  = Volumen de aire (L).

$D$  = Bore (mm).

$d$  = Diámetro del vástago (mm).

$h$  = Carrera (mm).

$p$  = Presión de operación (Bar).

$$Q = \left[ \frac{\pi * 40^2}{4} + \left( \frac{\pi * (40^2 - 16^2)}{4} \right) \right] 270 * 3.2 * 10^{-6} = 1.997 \text{ lt}$$

Es decir el cilindro consume aproximadamente 2 lts., en un ciclo de trabajo.

### 5.2.3.2 SELECCIÓN DE LOS CILINDROS PARA EL CARGADO E IMPRESIÓN.

El procedimiento para seleccionar esta clase de cilindros es similar a la anterior. Solamente se realiza la selección del cilindro del racle debido a que el cilindro del cargador es similar, para conservar la simetría, la estética adecuada y, debido también, a que la diferencia de precio es muy pequeña.

De los cilindros disponibles en el catálogo se selecciona el que satisfaga una fuerza de 20N y una carrera de 50 mm, por lo que se escoge el **EM-16-50-U, ISO 6432 [11]**.

La presión requerida por el cilindro para desarrollar una fuerza de 20 N en la retracción, es de aproximadamente 1 Bar.

Se considera solo la fuerza de retracción, debido a que en éste momento el cilindro trabaja al máximo. En la extensión, el peso del racle ayuda al descenso del vástago del cilindro.

#### 5.2.3.2.1 CONSUMO DE CAUDAL DE AIRE [11].

El consumo de aire en la extensión y en la retracción esta dado por la ecuación (5.27), por lo que:

$$Q = \left[ \frac{\pi * 16^2}{4} + \left( \frac{\pi * (16^2 - 6^2)}{4} \right) \right] 50 * 1 * 10^{-6} = 0,019 \text{ lt}$$

Por lo tanto, el volumen de aire que consume cada cilindro es de aproximadamente 0,020 lts., por cada ciclo de trabajo.

### **5.2.3.3 SELECCIÓN DEL GENERADOR DE VACIO [15].**

En la impresora se requiere un generador de vacío, que proporcione una depresión suficiente, para sostener el formato en la mesa.

Para nuestro propósito seleccionamos del catálogo un generador de vacío “tipo venturi”, de las siguientes características:

Generador de vacío por efecto venturi.

Conexión G 1/4.

Presión de alimentación 1.5 – 10 Bar.

La selección del generador se basa en sus características de depresión vs presión de alimentación. De las tablas del catálogo se observa que con una presión de 5 Bar, se obtiene una depresión de 0.75 Bar [15]. Esta depresión es suficiente para el sistema de succión, pues el sistema solo requiere sostener una hoja contra la mesa, otro aspecto importante en la selección fue el factor económico.

### **5.2.4 SELECCIÓN DE LOS ACCIONADORES NEUMÁTICOS.**

Para accionar los actuadores en la máquina se requieren electroválvulas bidireccionales, debido a que el control de la máquina es eléctrico-electrónico.

**SELECCIÓN DE LA VÁLVULA 5x2 PARA EL ACCIONAMIENTO DEL CILINDRO PRINCIPAL [12][13].**

La selección de la electroválvula se realiza por medio del caudal requerido (ecuación 5.28) y del caudal nominal (ecuación 5.29) [13]:

$$Q_r = 0.0028 * \frac{d^2 * C}{t} * (p + 1.013) \quad (5.28)$$

donde:

$Q_r$  = Caudal requerido (Nm<sup>3</sup>/h.)

$d$  = Diámetro del pistón del cilindro = 4 cm.

$C$  = Carrera del cilindro = 27 cm.

$t$  = Tiempo de ejecución del movimiento = 1,5 seg.

$p$  = Presión de operación o manométrica = 3.2 Bar.

Por lo que:

$$Q_r = 0.0028 * \frac{4^2 * 27}{1,5} (3.2 + 1.013) = 3,39 \frac{Nm^3}{h}$$

El caudal nominal se determina con la siguiente expresión [13]:

$$Q_n = \frac{40.89 * Q_r}{\sqrt{\Delta p (p_e - \Delta p)}} \quad (5.29)$$

donde:

$Q_n$  = Caudal nominal de la válvula (Nm<sup>3</sup>/h).

$\Delta p$  = Caída de presión admitida en la válvula = 1 Bar.

$p_e$  = Presión absoluta de alimentación de la válvula = 6 Bar.



$$Q_n = \frac{40.89 * 3.39}{\sqrt{1(6-1)}} = 62 \frac{Nm^3}{h}$$

Para la selección se requiere transformar el caudal nominal dado en  $Nm^3/h$  a Cv (constante de la válvula), por lo que se tiene:

$$\frac{62 \frac{m^3}{h}}{1 \frac{m^3}{h}} * \frac{16,6667 \frac{lls}{min}}{1000 \frac{lls}{min}} * 1,016 Cv$$

$$Q_n = 1,04 Cv$$

Según el catálogo de MAC [12], se selecciona una electroválvula de caudal nominal de 1.4 Cv, y una conexión de trabajo de G 1/4", cuyo código es **812C-PM-111JB-112** y cuyas características más importantes son:

Rango de presión de trabajo = 20-150 psi.

Caudal nominal = 1, 4 Cv.

Pérdidas = a 6 Bar  $\rightarrow \Delta p$  1 Bar.

Bobina = 120/60, 110/50.

### **SELECCIÓN DE LA VÁLVULA 4x2 PARA EL ACCIONAMIENTO DEL CILINDRO DE IMPRESIÓN [12][13].**

El caudal requerido se calcula con la expresión 5.28, y en este caso se tiene un valor de  $0,072 Nm^3/h$ , el caudal nominal se lo determina con la expresión 5.29 dando un resultado de  $1,32 Nm^3/h = 0,022 Cv$ .

Se selecciona una electroválvula de caudal nominal de 0,15 Cv, y una conexión de trabajo de G 1/8". Si bien 0,15 Cv es mucho mayor a 0,022 Cv, pero esta válvula es la más pequeña disponible en el catálogo y en el mercado. Por otro lado, se tiene un factor de seguridad muy aceptable. La válvula seleccionada es una **45A-AA1-DAAA-1KA**, y cuyas características más importantes son:

Rango de presión de trabajo = 00 - 150 psi.

Caudal nominal = 0,15 Cv.

Perdidas = a 6 Bar  $\rightarrow \Delta p = 1$  Bar.

Bobina = 120/60, 110/50.

### **SELECCIÓN DE LA VÁLVULA 3x2 PARA EL ACCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE VACÍO [12][13].**

El generador de vacío seleccionado, tiene un consumo de aire de  $1,16 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Por lo tanto, se calcula el caudal nominal de la válvula con la ecuación 5.29:

$$Q_n = \frac{40.89 * 1,76}{\sqrt{1(6-1)}} = 32,18 \text{ m}^3 / \text{h}$$

por lo que:

$$Q_n = 0,54 \text{ Cv}$$

Con éste dato selecciona la válvula adecuada para el consumo, por lo que se elige la válvula con un caudal nominal de 0,5 Cv., y una conexión de trabajo de G 1/8", la válvula seleccionada es **225B-111JA** y sus características importantes

son:

Rango de presión de trabajo = 0 - 150 psi.

Caudal nominal = 0,15 Cv.

Perdidas = a 6 Bar  $\rightarrow \Delta p = 1$  Bar.

Bobina = 120/60, 110/50.

### 5.2.5 SELECCIÓN DE LA UNIDAD TÉCNICA DE MANTENIMIENTO [14].

La unidad técnica de mantenimiento permite acondicionar el aire a utilizarse en el sistema neumático. Esta adecuación del aire consta de: filtración, recolección de condensado, regulación de presión y lubricación.

La selección del UTM (Unidad Técnica de Mantenimiento) se realiza en base al rango de presión que maneja, y a su costo. De lo mencionado, se selecciona la UTM de marca PNEUMAX, serie 1700 (filter pressure regulator + Lubricator Size 4): **17407N.B.C.C.S**, cuyas características son:

B = conexión G 1".

C = filtro de 50 u.

C = rango de ajuste de 0 a 8 Bar.

S = drenaje automático.

### 5.2.6 SELECCIÓN DE LOS REGULADORES DE CAUDAL [11].

**Reguladores para el cilindro principal.**

Según el esquema neumático, el sistema requiere de dos reguladores de caudal para controlar la velocidad del cilindro principal, estos reguladores se seleccionaron de acuerdo a las conexiones que necesita el cilindro. Se selecciona un regulador de caudal tipo banjo de 1/4".

### **Reguladores de los cilindros para el cargado e impresión.**

Se selecciona reguladores de caudal tipo banjo de 1/8", debido a las conexiones que se utilizan en los cilindros y en las válvulas direccionales utilizadas para su control.

#### **5.2.7 SELECCIÓN DE LOS CONECTORES.**

Se seleccionan 8 conectores con acople rápido de 4 mm.x1/8" (6 para las válvulas direccionales 4x2, y 2 para los cilindros), 9 conectores con acople rápido de 6 mm.x1/4" (2 para la unidad técnica de mantenimiento, 3 para la electro válvula 5x2, 2 para la válvula 3x2, 1 para el generador de vacío y otra para la mesa), y 1 conector con acople rápido de 6 mm.x3/8", para la entrada del generador de vacío. Se requiere dos conectores "T Igual" con acoples rápidos de 6 mm.x1/4", un conector "T Igual" con acoples rápidos de 4mm.x1/8".

#### **5.2.8 SELECCIÓN DE LAS MANGUERAS [14].**

La manguera seleccionada es de 4mm y 6mm, debido a las características de los acoples y, su longitud de acuerdo a la comodidad de movimientos en la máquina.

Realizada la verificación [14], se puede apreciar que, a una presión de trabajo de 5 bares (presión del sistema), las mangueras pueden soportar hasta 70°C. de temperatura de trabajo. Por lo cual, las mangueras seleccionadas están justificadas.

### 5.2.9 SELECCIÓN DEL COMPRESOR [17].

Para seleccionar el compresor utilizamos la REGLA DE DEDO. Esta regla indica que:

*1 HP producirá cerca de 4 CFM a 100 psig.*

Esta regla es utilizada en la empresa AINSA, donde fue adquirido todo el sistema neumático y se utilizó en la selección del compresor.

La suma del caudal de aire requerido por los tres cilindros y el generador de vacío, dan como resultado:

$$V_t = 2 + 2 * 0,02 = 2,04 \text{ L}$$

Este consumo es por cada impresión realizada, la cual se realiza en un tiempo estimado de 8 segundos.

Por lo tanto, para calcular el caudal de aire requerido por cada impresión:

$$Q_{cilindros} = \frac{2,04}{8} = 0,255 \text{ lts / s}$$

El generador de vacío consume un caudal de:

$$Q_{G.de\ vacio} = 1,76\ m^3 / h$$

En consecuencia:

$$Qt = 0,255 + 0,488 = 0,743\ lbs / s = 1,57\ CFM$$

De aquí se deduce que, un compresor de 1 HP sería suficiente para el sistema neumático. El compresor producirá 4 CFM a 100 psig., y se dispondría de un factor de seguridad mayor a dos, lo cual es conveniente.

#### 5.2.10 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE:

El tanque es el lugar en donde se almacenará el aire a ser utilizado en el sistema.

$$V = \frac{Qc \times t \times p_a}{p} \quad (5.30)$$

donde:

$p_a$  = presión de admisión generalmente 1 atm = 1,01325 Bar.

$Q$  = caudal que eroga el compresor.

$t$  = Tiempo que el compresor esta cargando el tanque.

$\Delta p$  = variación de la presión entre  $p_{max}$  y  $p_{min}$  del tanque = 1Bar.

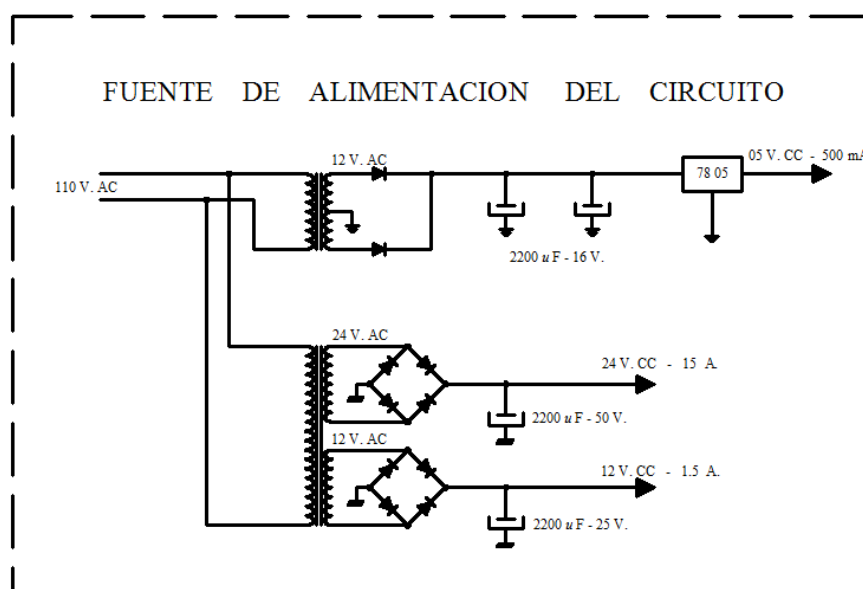
$$V = \frac{1,98\ lbs / s * 60\ s * 1,01325\ Bar}{1Bar} = 120,37\ lbs$$

De la cual se deduce que con un tanque de alrededor de 100 lbs., el compresor se encenderá aproximadamente cada minuto.

### 5.3. DISEÑO ELECTRÓNICO.

El diseño eléctrico - electrónico está basado en las necesidades de la máquina, como son: 120 V - 60 Hz para el solenoide de las válvulas utilizadas en el sistema neumático; 24 V – CC, mínimo 08 amperios (A) para un motor de imán permanente que desplaza el soporte de impresión; 12 V - CC., min. 4 A. para un motor de paso que será el encargado del desplazamiento vertical de la mesa de impresión; 5 V – CC, para la alimentación del circuito de control. En ésta fuente no se necesita una gran corriente ya que los elementos del bloque trabajan con corrientes del orden de los miliamperios.

#### 5.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.



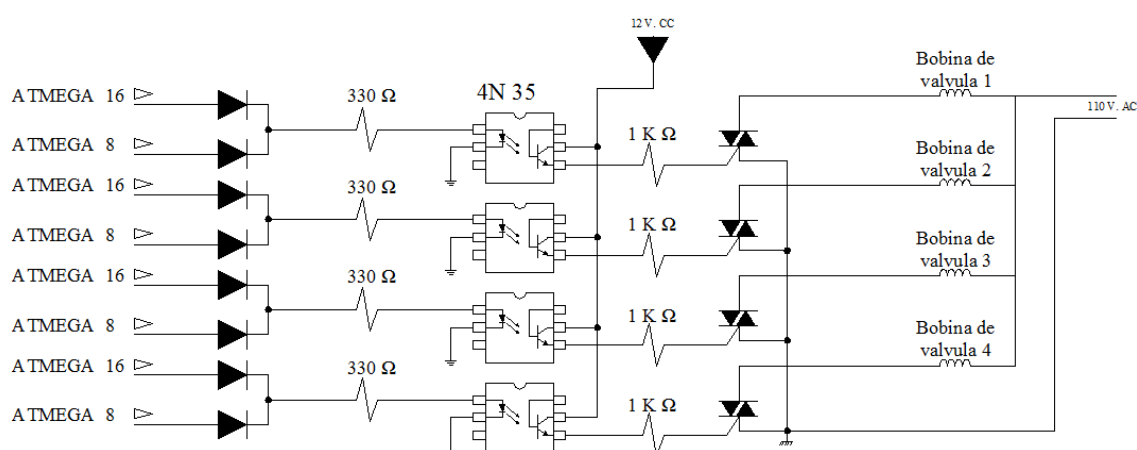
**Figura 5.50. Fuente de alimentación.**

En la Fig. 5.50, se puede observar que para la fuente de 5 V. de CC, se necesita solamente dos diodos, ya que se cuenta con una toma central. Se construyó una

fuentes de onda completa con dos diodos y una toma central. Para la rectificación se utilizan dos condensadores de  $2200\ \mu F$  a 16 V. Se usan dos, debido a que, en la fuente se necesitan una onda bien rectificada.

En las fuentes de 24V y 12V, se necesita un puente rectificador de 25 A y un condensador para cada fuente, ya que no es necesaria una pureza elevada en la corriente rectificada.

### 5.3.2 CIRCUITO DE CONTROL Y ACCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS.



**Figura 5.51. Circuito de accionamiento de las válvulas.**

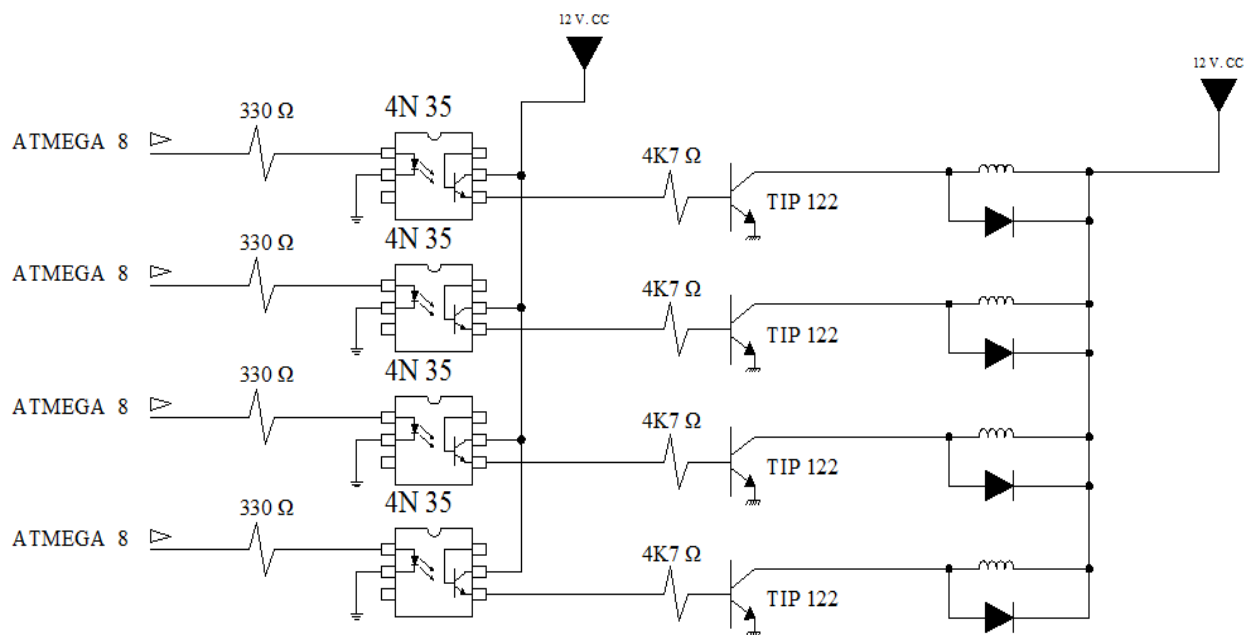
El circuito de control para accionar las válvulas está basado solamente en una señal eléctrica proveniente de dos microcontroladores: ATMEGA 16 y ATMEGA 8. Esta señal ingresa a través de los diodos, para que la señal de un micro controlador no entre en conflicto con la del otro. Luego la señal es reducida en su intensidad al pasar a través de una resistencia de 330 ohm, esta señal acciona al



diodo *Led interno* que se encuentra en el interior del *opto acoplador* que cumple con la función de separar físicamente el circuito de control, del circuito de accionamiento (circuito de potencia).

La otra etapa del circuito, es la de potencia, que acciona las bobinas de las válvulas de 120 voltios, por medio de triacs de 8 A.

### 5.3.3 CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR DE PASO.

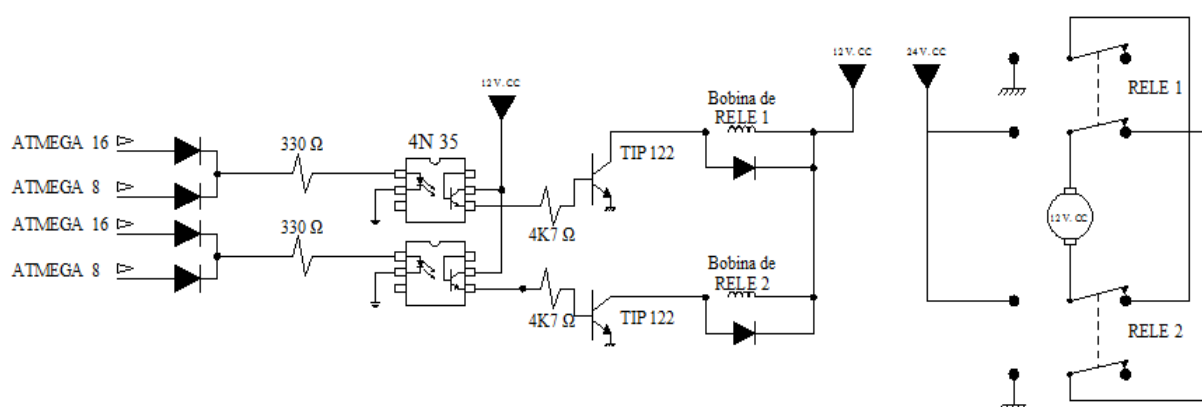


**Figura 5.52. Circuito de control del motor.**

El circuito de control del motor de paso está comandado al igual que el circuito anterior por microcontroladores que acciona a un *opto acoplador* que tiene como función principal eliminar el efecto inductivo que producen las bobinas del motor, las bobinas del motor de paso están comandadas por transistores TIP122 de 5 A.

### 5.3.4 CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR DE CC. PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL SOPORTE.

En la Fig. 5.53, se puede observar tres etapas: 1) La etapa de control. 2) La etapa de accionamiento de las bobinas de los relés. 3) La etapa de potencia que maneja el sentido y cambio de giro del motor de CC, que trabaja a 24 volts y 8 A., esto se lo realiza por medio de dos relés, cuyas bobinas están comandadas por transistores de 5 A.

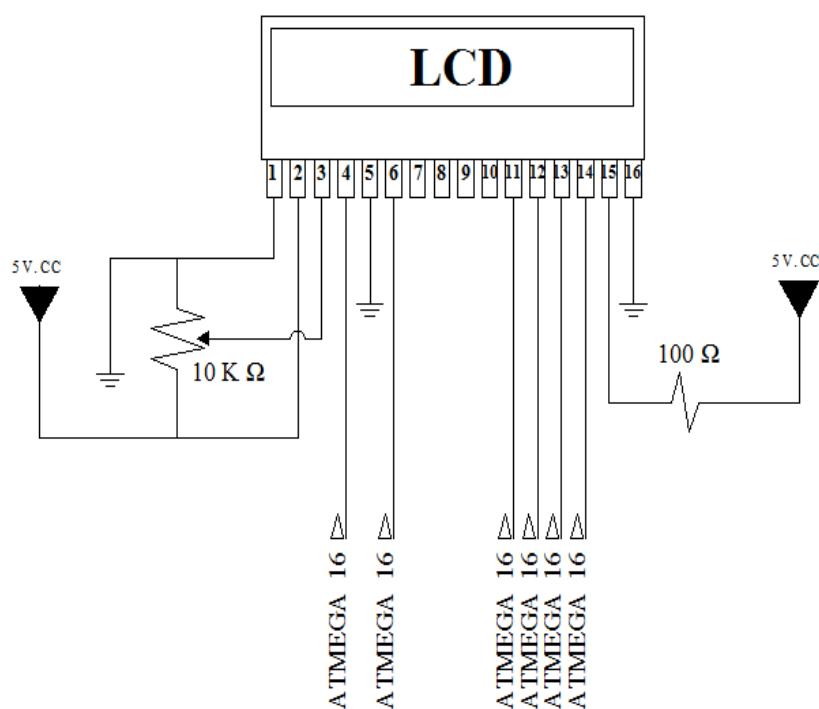


**Figura 5.53. Circuito de control del motor de CC.**

### 5.3.5 CIRCUITO DE VISUALIZACIÓN DEL LCD 16X2 (AZUL).

El LCD utilizado en la máquina es un elemento muy importante. Es el encargado de visualizar y hacer más cómoda la operación y manejo de la impresora.

Para el funcionamiento del LCD solo se necesita una resistencia de 100 ohm; para el encendido de la pantalla, un potenciómetro o resistencia variable de 10 K ohm, que es el encargado de regular el contraste. La comunicación con el microcontrolador es a 4 bits y la alimentación de energía es de 5 voltios al igual que el microcontrolador.



**Figura 5.54. LCD.**

### 5.3.6 MICROCONTROLADORES.

Los microcontroladores son los elementos más importantes del circuito. Son prácticamente el cerebro de la máquina.

Los microcontroladores utilizados son dos: un ATMEGA 8 y un ATMEGA 16.

El microcontrolador ATMEGA 8, tiene 28 pines y consta con tres puertos de 8 bits cada uno. Cumple la tarea de calibrar la máquina, y se encuentra operando como esclavo.

El microcontrolador ATMEGA 16 tiene 40 pines. Consta de cuatro puertos, cada puerto opera a 8 bits. El ATMEGA 16 es el encargado del funcionamiento continuo de la impresora, el cual es visualizado en el LCD que también está conectado al microcontrolador.

### **5.3.7 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.**

La programación del microcontrolador se la realizó con el programa de computación llamado BASCOM AVR. El programa utiliza un lenguaje de tipo visual y se incluye en el anexo 1.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y MANTENIMIENTO.**

#### **6.1. TECNOLOGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA IMPRESORA.**

En la construcción y montaje de la impresora de serigrafía se utiliza las siguientes máquinas - herramientas y elementos mecánicos.

- Horno de fundición de aluminio.
- Moldes de arena.
- Fresadora.
- Torno.
- Dobladora manual.
- Soldadora eléctrica CA.
- Taladro de pedestal.
- Taladro de mano.
- Amoladora.
- Esmeril.
- Rectificadores neumáticos.
- Cizalla.

- Entenalla.
- Arco de sierra.
- Brocas.
- Machuelos.
- Tarraja.
- Calibradores
- Martillo, playos, destornilladores, flexómetro, escuadra, lima, nivel, llaves en general.
- Cautín.

#### **6.1.1 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.**

En la construcción de la impresora de serigrafía se emplean partes mecánicas de aluminio, obtenidas por fundición, debido a la rigidez y estabilidad que se requiere en el proceso de impresión.

Estos elementos fueron elaborados en el taller de fundición de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

La estructura en general fue construida utilizando perfilería de acero. Se utilizó una plancha de acero inoxidable para el recubrimiento superior de la mesa, debido al uso de sustancias químicas que pudieran corroer la estructura de la maquina.

La descripción completa del proceso de construcción de la máquina, se muestra en la siguiente tabla que indica sus partes constitutivas:

TABLA 6.1. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA MÁQUINA

SISTEMA	ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL / MODELO
DISPOSITIVO DE CARGADO E IMPRESIÓN	Goma	1	Poliuretano
	Racle	1	Aluminio
	cargador	1	Acero inoxidable AISI 304
	Sujetador del racle	1	Aluminio
	Sujetador del cargador	1	Aluminio
	Soporte de cilindros	1	Aluminio
	Ejes guía	4	Acero SAE 1018-3/8"
	Bujes	8	Nylon 6.6
	Pernos	5	Allen 5/16"x1"
	Pernos	2	Allen 5/16"x1/2"
DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL Y SUJECCIÓN DEL MARCO	Soporte móvil	1	Tubo cuadrado 3/4"x1.5 mm.
	Camisas	2	Barra perforada 45x20 mm
	Ejes guía	2	Acero SAE 1018-3/4"
	Bujes	2	Nylon 6.6
	Tuercas	8	Acero 3/4"
	Placas	2	
	Perfil de soporte	1	Correa 150x50x15x2
	Guía del marco	1	Tubo rectangular 2"x1"x2mm
	Guía sujetador marco	2	Aluminio
	Sujetador marco	2	Aluminio
	Pernos	16	Allen 5/16"x1"
	Piñón	1	Acero SAE 1018
	Cremallera	1	Acero SAE 1018
	Motor	1	CC - 24 V
DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL	Ejes	2	Acero SAE 1018-2"
	Camisas	2	Barra perforada 85x75 mm
	Bujes	2	Nylon 6.6
SISTEMA DE ELEVACIÓN DE LA MESA DE	Cadena de elevación	1	
	Catalina	5	
	Ejes roscados	4	Acero SAE 1018

IMPRESIÓN	Rodamientos	4	SKF de bolas 1"
	Marco mesa	1	Angulo 2x2
	Cámara de succión	1	Acero inoxidable AISI 304
	Motor	1	Motor paso a paso
MESA PRINCIPAL	Estructura	1	Perfilaría de construcción
SISTEMA MEUMÁTICO	Cilindro principal	1	C-40-270-CB - ISO 6431
	Cilindro carga e impresión	2	EM-16-50-U - ISO 6432
	Generador de vacío	1	Aluminio
	Electroválvula 5x2	1	
	Electroválvula 4x2	2	
	Electroválvula 3x2	1	
	UTM	1	
	Conectores	18	
	Manguera		Poliuretano
TABLERO DE CONTROL	Caja de tablero	1	Acero inoxidable AISI 304
	Pulsadores	16	
	Baquelita	1	
	LCD	1	
SISTEMA DE CONTROL	Transformador	1	
	micro controlador Mega 8	1	
	micro controlador Mega 16	1	
	Puente rectificador	3	
	Condensadores	5	
	Regulador 5-V.	1	
	Opto-acoplador	10	
	Resistencias	25	
	Triacs	4	
	Transistores	6	
	Baquelita	1	Cobre
	Sensores magnéticos	2	



### 6.1.2 OPERACIONES TECNOLÓGICAS EJECUTADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA IMPRESORA DE SERIGRAFÍA.

En las siguientes tablas se indican las operaciones tecnológicas realizadas en la construcción de la impresora de serigrafía:

**TABLA 6.2. OPERACIONES TECNOLÓGICAS**

SISTEMA	ELEMENTO	N°	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO (HORAS)
DISPOSITIVO DE CARGADO E IMPRESIÓN	Goma	1	Lijado	0,5
	Racle	2	Moldeado	0,5
		3	Fundido	2
		4	Fresado	3
		5	Taladrado	0,25
		6	Roscado	0,25
		7	Limado	0,15
		8	Lijado	0,5
	Sujetador del Racle	9	Moldeado	0,5
		10	Fundido	2
		11	Fresado	3
		12	Taladrado	0,25
		13	Roscado	0,25
		14	Limado	0,15
		15	Lijado	0,5
	Cargador	16	Cizallado	0,1
		17	Limado	0,1
		18	Lijado	0,25
	Sujetador del cargador	19	Moldeado	0,5
		20	Fundido	2
		21	Fresado	3
		22	Taladrado	0,25
		23	Roscado	0,25
		24	Limado	0,15

		25	Lijado	0,5
	Soporte de cilindros	26	Moldeado	0,5
		27	Fundido	2
		28	Fresado	3
		29	Taladrado	0,25
		30	Roscado	0,25
		31	Limado	0,5
		32	Lijado	0,15
		33	Pulido	0,5
	Ejes guía	34	Cortado	0,25
		35	Torneado	0,5
		36	Roscado	0,5
	Bujes	37	Cortado	0,25
		38	Torneado	0,5
DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL Y SUJECIÓN DEL MARCO	Soporte móvil	39	Cortado	0,5
		40	Soldado	1
		41	Taladrado	0,15
		42	Pintado	0,5
	Camisas	43	Cortado	0,25
		44	Torneado	1
		45	Pintado	0,25
	Ejes guía	46	Cortado	0,5
		47	Torneado	0,5
		48	Roscado	1
	Bujes	49	Cortado	0,25
		50	Torneado	1
	Placas	51	Cizallado	0,25
		52	Limado	0,5
		53	Lijado	0,5
	Perfil de soporte	54	Cortado	0,25
		55	Soldado	0,5
		56	Pintado	0,25
	Guía del soporte de marco	57	Cortado	0,25
		58	Soldado	0,5

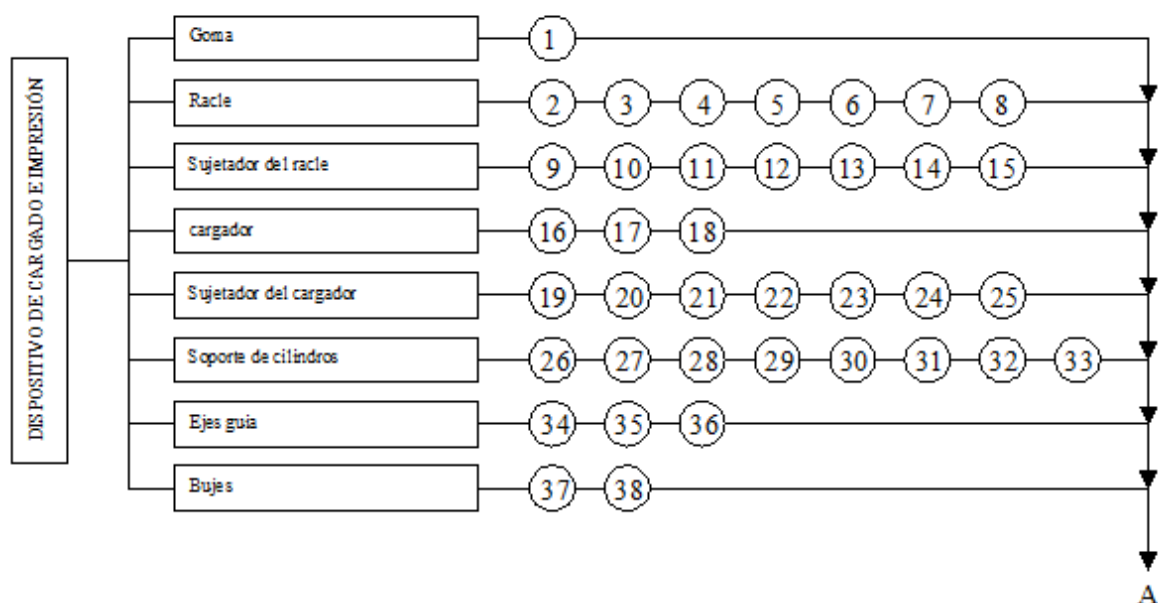
		59	Pintado	0,25
	Guía sujetador marco	60	Moldeado	0,5
		61	Fundido	2
		62	Fresado	3
		63	Limado	0,25
		64	Taladrado	0,25
		65	Roscado	0,15
		66	Lijado	0,5
	Sujetador marco	67	Moldeado	0,5
		68	Fundido	2
		69	Fresado	3
		70	Limado	0,25
		71	Taladrado	0,25
		72	Roscado	0,15
		73	Lijado	0,5
	Piñón	74	Cortado	0,1
		75	Torneado	0,5
		76	Fresado	3
	Cremallera	77	Cortado	0,25
		78	Fresado	6
		79	Soldado	0,5
DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL	Ejes	80	Cortado	0,5
		81	Torneado	0,5
	Camisas	82	Cortado	0,5
		83	Torneado	1
		84	Soldado	0,25
	Bujes	85	Cortado	0,25
		86	Torneado	0,5
SISTEMA DE ELEVACIÓN DE LA MESA	Ejes roscados	87	Cortado	0,25
		88	Soldados	0,25
	Marco mesa	89	Cortado	0,5
		90	Soldado	0,25
		91	Pintado	0,25
	Cámara de	92	Cortado	0,25

	succión	93	Soldado	0,5
		94	Pintado	0,25
		95	Pegado	0,25
MESA PRINCIPAL	Estructura	96	Cortado	1,5
		97	Soldado	3
		98	Limado	1
TABLERO DE CONTROL	Caja de tablero	99	Cortado	0,25
		100	Doblado	0,25
	Pulsadores	101	Soldado con cautín	0,5
	Baquelita	102	Cortado	0,15
	LCD	103	Soldado con cautín	0,25
SISTEMA DE CONTROL (CIRCUITO ELECTRÓNICO)	baquelita	104	Diseño del circuito impreso	5
		105	Revelado en ácido	3
		106	Taladrado	0,5
			TOTAL	85,5

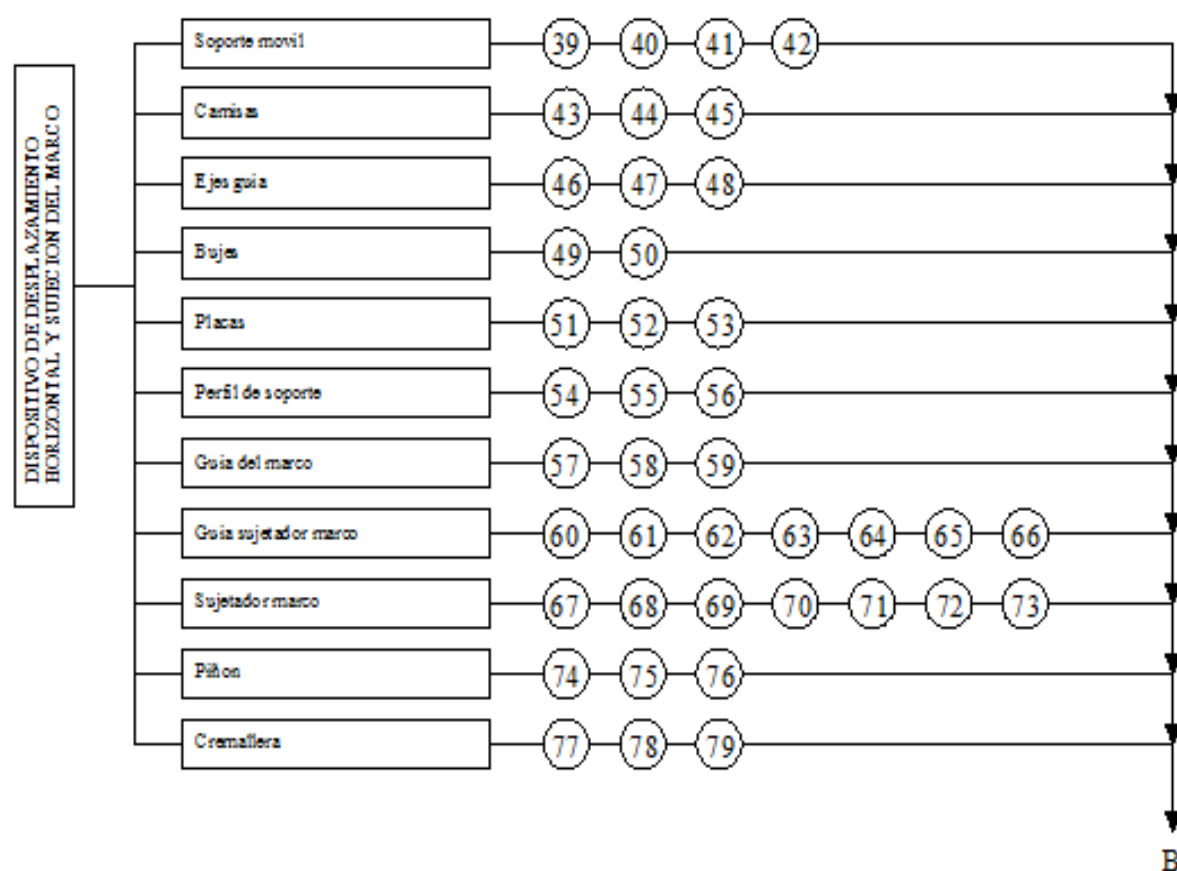
### 6.1.3 FLUJOGRAMA DE OPERACIONES TECNOLÓGICAS.

A continuación se presentan los flujogramas de las operaciones tecnológicas:

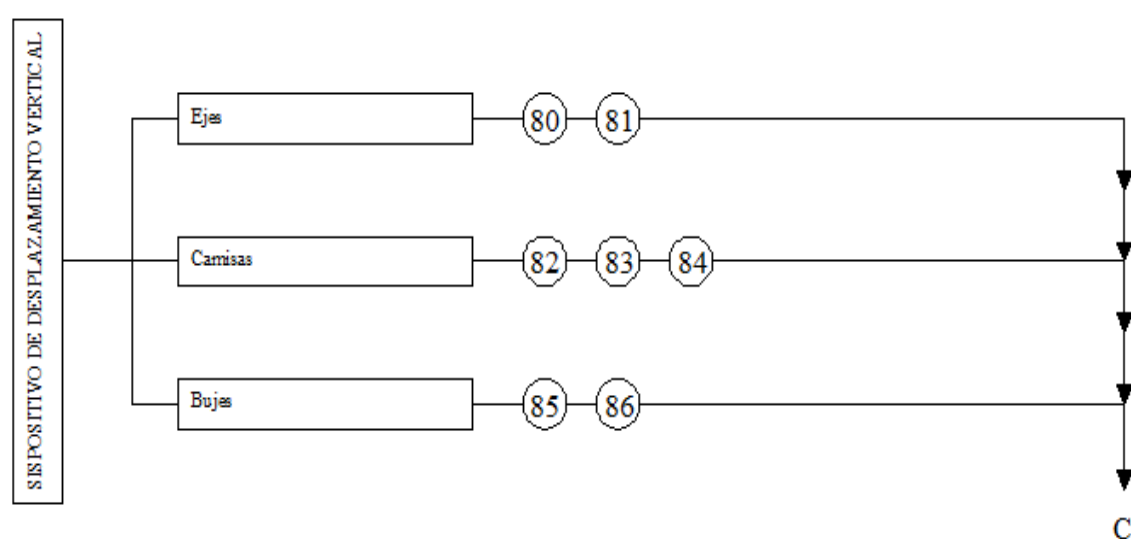
Flujograma del dispositivo de cargado e impresión:



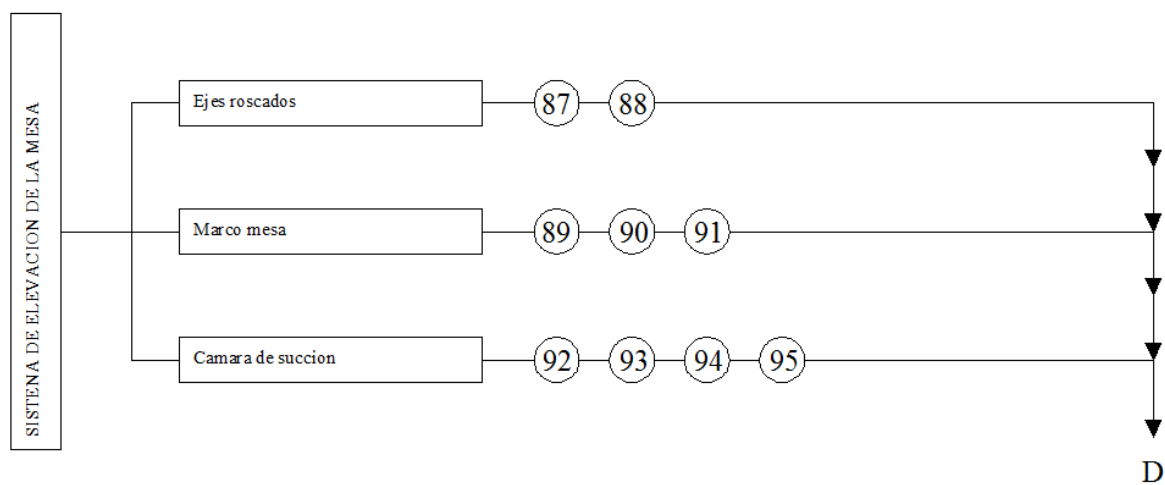
Flujograma del dispositivo de desplazamiento horizontal y sujeción del marco:



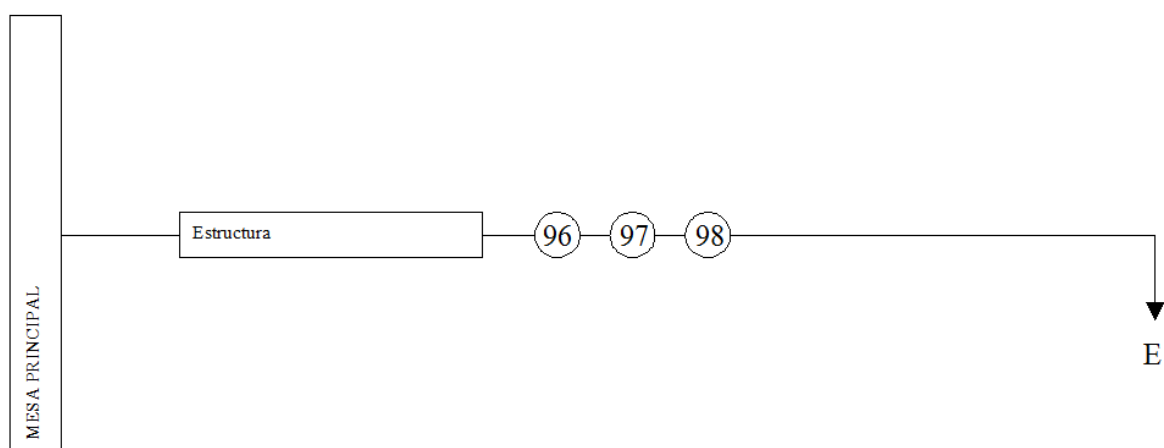
Flujograma del dispositivo de desplazamiento vertical:



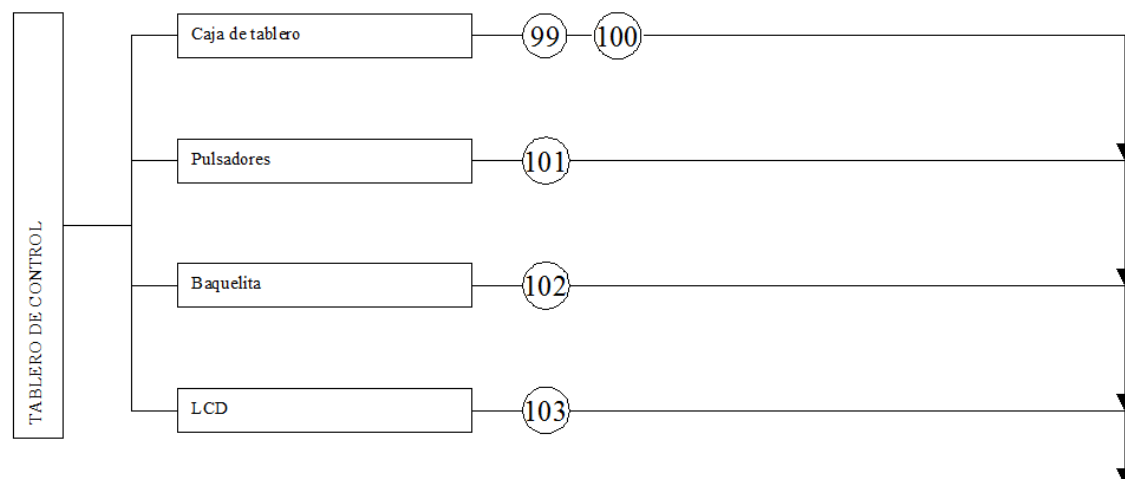
Flujograma del sistema de elevación de la mesa:



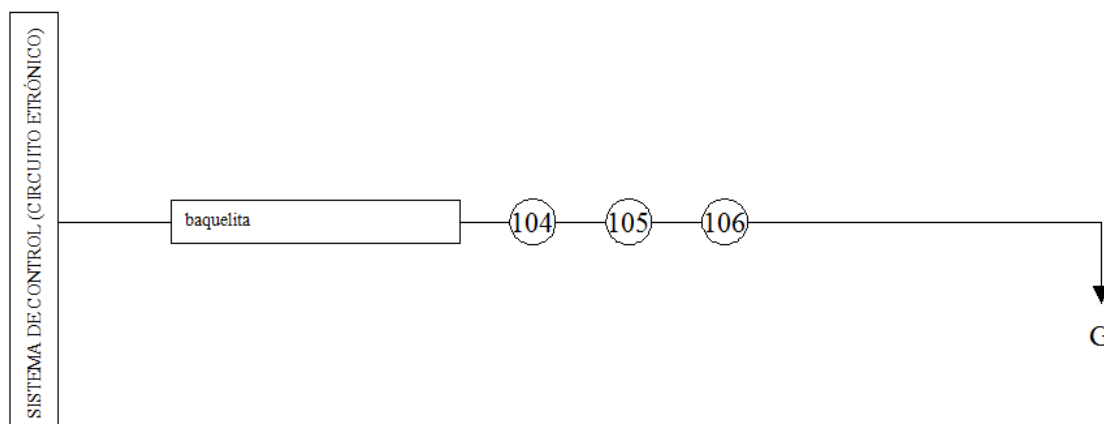
Flujograma de la mesa principal:



Flujograma del tablero de control:



Flujograma del sistema de control:



## 6.2. MONTAJE DE LA IMPRESORA.

La impresora de serigrafía fue proyectada procurando que la mayor parte de piezas sean móviles, de tal manera que se facilite la tarea de calibración de la máquina.

**TABLA 6.3. TIEMPOS DE MONTAJE DISPOSITIVO DE CARGADO E IMPRESIÓN**

TIEMPOS DE MONTAJE DISPOSITIVO DE CARGADO E IMPRESIÓN		
Nº	OPERACIÓN	TIEMPO (horas)
M1	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,15
M2	Montaje de los bujes en el soporte	1
M3	Montaje de los ejes	0,5
M4	Montaje de los cilindros en el soporte	0,5
M5	Montaje de los soportes del Racle y Cargador	0,5
M6	Montaje del Racle y Cargador	0,25
TOTAL		2,9

**TABLA 6.4. TIEMPOS DE MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL Y SUJECCIÓN DEL MARCO**

<b>TIEMPOS DE MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL Y SUJECCIÓN DEL MARCO</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M7	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,25
M8	Montaje de bujes dentro de las camisas	1
M9	Montaje de los ejes	1
M10	Montaje del soporte móvil en los ejes	0,25
M11	Montaje del dispositivo de C. e I. en el soporte móvil	0,25
M12	Montaje del soporte del marco	0,25
<b>TOTAL</b>		<b>3</b>

**TABLA 6.5. TIEMPOS DE MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL.**

<b>TIEMPOS DE MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M13	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,25
M14	Montaje de los ejes principales en la mesa	3
M15	Montaje de los bujes en las camisas	1
M16	Montaje de las camisas al sistema de desplazamiento horizontal y sujeción del marco	0,25
<b>TOTAL</b>		<b>4,5</b>

**TABLA 6.6. TIEMPOS DE MONTAJE DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN DE LA MESA DE IMPRESIÓN.**



<b>TIEMPOS DE MONTAJE DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN DE LA MESA DE IMPRESIÓN</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M17	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,25
M18	Montaje del motor	0,5
M19	Montaje de las catalinas	2
M20	Montaje de los ejes roscados y marco de mesa	1,5
M21	Montaje de la cámara de vacío	1
<b>TOTAL</b>		<b>5,25</b>

**TABLA 6.7. TIEMPOS DE MONTAJE DE LA MESA PRINCIPAL AL CONJUNTO.**

<b>TIEMPOS DE MONTAJE DE LA MESA PRINCIPAL AL CONJUNTO</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M22	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,5
M23	Montaje de la mesa principal al conjunto	2
<b>TOTAL</b>		<b>2,5</b>

**TABLA 6.8. TIEMPOS DE MONTAJE DEL SISTEMA MEUMÁTICO.**

<b>TIEMPOS DE MONTAJE DEL SISTEMA MEUMÁTICO</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M24	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,25
M25	Montaje de la unidad técnica de mantenimiento	0,25
M26	Montaje del cilindro principal	0,5
M27	Montaje de los cilindros de impresión y cargado	0,25
M28	Montaje de las válvulas	0,25
M29	Montaje del generador de vacío	0,25
M30	Conexiones neumáticas	0,25
M31	Cableado de electroválvulas	0,25

TOTAL

2,25

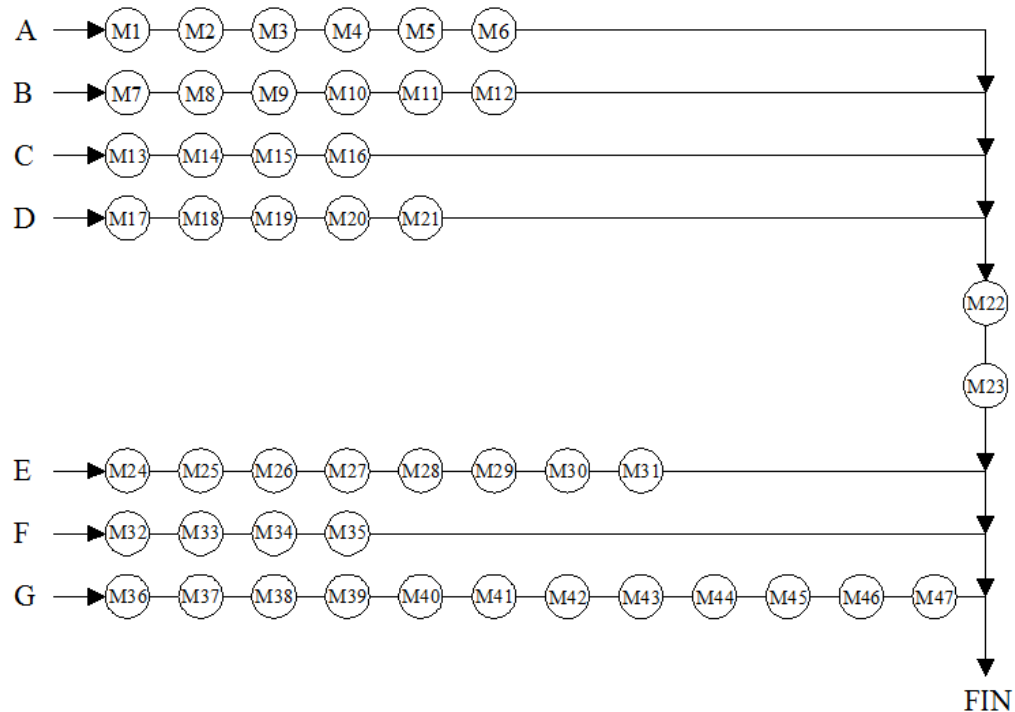
**TABLA 6.9. TIEMPOS DE MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL.**

<b>TIEMPOS DE MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M32	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,25
M33	Montaje del teclado	0,5
M34	Montaje del LCD	0,5
M35	Montaje de la caja metálica	0,25
TOTAL		1,5

**TABLA 6.10. TIEMPOS DE MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL.**

<b>TIEMPOS DE MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL</b>		
<b>N°</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>TIEMPO (horas)</b>
M36	Traslado de elementos al sitio de trabajo	0,25
M37	Montaje del transformador	0,25
M38	Montaje del microcontrolador ATMEGA 8	0,25
M39	Montaje del microcontrolador ATMEGA 16	0,25
M40	Montaje del puente rectificador	0,25
M41	Montaje de los condensadores	0,25
M42	Montaje del regulador	0,25
M43	Montaje de los opto-acopladores	0,25
M44	Montaje de las resistencias	0,25
M45	Montaje de los triacs	0,25
M46	Montaje de los transistores	0,25
M47	Montaje de los sensores magnéticos	0,5
TOTAL		3,25

### 6.3. FLUJOGRAMA DE MONTAJE.

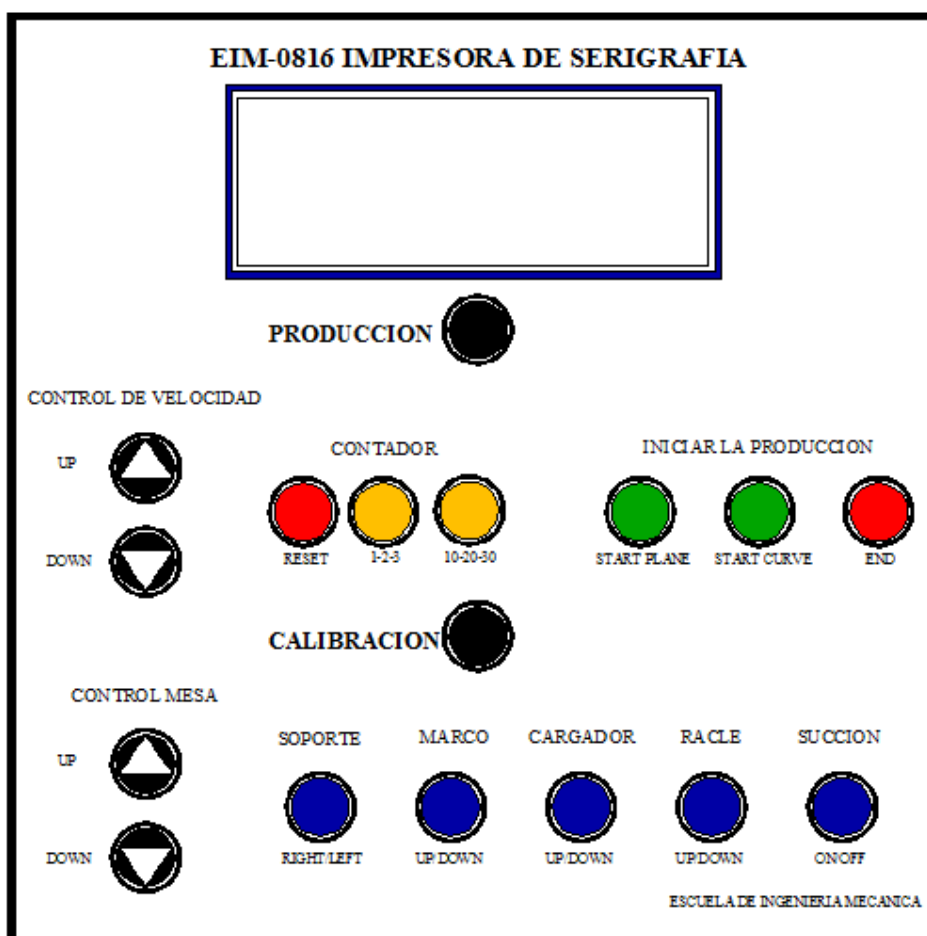


### 6.4. SECUENCIA DE OPERACIÓN.

- Energizar el sistema con la utilización de un interruptor (switch), colocado entre la red 120 y la máquina.
- Poner en operación el compresor.
- Abrir la válvula de globo para habilitar el sistema neumático.
- Verificar la posición correcta de los finales de carrera.
- Realizar los pasos de calibración manuales (serígrafo) y los correspondientes a la máquina:
- La calibración manual consiste en la ubicación del tamiz en su posición correcta, procurando que el dibujo a imprimir se encuentre en la parte central

de la mesa de impresión.

- La calibración de la máquina consiste en manipular los finales de carrera para limitar el recorrido del dispositivo de impresión y distribución de la tinta, a fin de cubrir solo el área del dibujo. También se debe mover la mesa de impresión para que quede a la distancia correcta del tamiz.
- El proceso de calibración de la máquina se lo realiza en forma automática desde el panel de control, el cual tiene las opciones que se indican en la Fig. 6.1.
- Así queda la impresora lista para iniciar la producción, tarea que se ejecuta desde el panel de control.



**Figura 6.1. Panel de control.**

### **6.5. SEGURIDAD.**

- La impresora debe ser manipulada por personal calificado, que tenga conocimiento técnico en la operación de la máquina. A pesar de no ser una tarea compleja, esta precaución permite evitar que, por desconocimiento del funcionamiento, resulten afectados o dañados alguno de sus componentes.
- Comprobar que el nivel de la mesa sea el adecuado.
- No colocar objetos pesados sobre el tablero de control, para evitar que los pulsadores se averíen.
- La manipulación del sistema neumático se debe realizar con el sistema de alimentación de aire apagado. Antes se debe comprobar que la válvula de globo del compresor esté cerrada.

### **6.6. MANTENIMIENTO**

La impresora de serigrafía está constituida por tres sistemas distinguibles entre si:

1) El sistema neumático. 2) El sistema electrónico de control. 3) La parte mecánica; por lo que, el plan de mantenimiento requerido por la máquina abarca las tres áreas que interactúan y dependen una de otra para el buen funcionamiento en conjunto.

Para garantizar el funcionamiento y la durabilidad de la máquina, se establece un plan de mantenimiento preventivo, de la manera que se presenta a continuación.

### **6.6.1 INSPECCIÓN DIARIA.**

- Comprobar el buen estado del sistema. Un sonido extraño alerta de una posible avería o fuga de aire.
- Al energizar la máquina, el LCD indica su correcto funcionamiento.
- Comprobar que los ejes que sirven de guía para el desplazamiento vertical y horizontal del sistema estén libres de suciedad (polvo). De lo contrario, ayudados de una franela, se procede a realizar la limpieza y se los vuelve a engrasar.

### **6.6.2 INSPECCIÓN SEMANAL.**

- Limpieza general de la impresora de serigrafía.
- Chequeo del nivel de aceite en la unidad técnica de mantenimiento. En caso de ser menor al indicado, completar hasta que el nivel sea el correcto.

### **6.6.3 INSPECCIÓN MENSUAL.**

- Observar si la lubricación en las partes móviles es la adecuada, de no ser así engrasar estas partes.
- Realizar una inspección exhaustiva de todos los sistemas de la máquina para detectar la existencia de alguna anomalía.
- Engrasar el sistema de elevación de la mesa de impresión (cadena-catalina).
- Engrasar los ejes guías principales (desplazamiento vertical).
- Engrasar los ejes guías secundarios (desplazamiento horizontal).
- Engrasar los ejes guía del cargador y del racle.
- Engrasar el mecanismo piñón cremallera.

## CAPÍTULO VII

### 7. COSTOS

#### 7.1. COSTOS DIRECTOS.

Los costos directos se componen de costos de materiales, mano de obra, maquinas herramientas y transporte, el transporte está incluido en el costo de los materiales

**TABLA 6.11. COSTOS DEL DISPOSITIVO DE CARGADO E IMPRESIÓN.**

Dispositivo de cargado e impresión	Unidad	Cantidad	Precio unit. (\$)	Total (\$)
Goma poliuretano	centímetro	30	0,8	24
Racle aluminio (fundición)	kilogramo	1,26	10	12,6
Cargador acero inoxidable AISI 304	plancha	0,025	40	1
Sujetador Racle aluminio (fundición)	kilogramo	0,27	10	2,7
Sujetador cargador aluminio (fundición)	kilogramo	0,27	10	2,7
Soporte cilindros aluminio (fundición)	kilogramo	1,25	10	12,5
Ejes guía acero SAE 1018-3/8"	kilogramo	0,6	1,75	1,05
Bujes nylon 6.6	kilogramo	0,07	17	1,19
Pernos Allen 5/16"x1"	unidad	5	0,375	1,875
Pernos Allen 5/16"x1/2"	unidad	2	0,375	0,75
SUBTOTAL				60,365

**TABLA 6.11. COSTOS DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO**

#### HORIZONTAL Y SUJECCIÓN DEL RACLE.

Dispositivo de desplazamiento horizontal y sujeción del Racle	Unidad	Cantidad	Precio unit. (\$)	Total (\$)
Soporte móvil tubo cuadrado 3/4"x1.5 mm.	6 metros	0,25	5,89	1,4725
Camisas acero barra perforada 45x20 mm.	kilogramo	2,1	3,7	7,77

Ejes guía acero SAE 1018-3/4"	kilogramo	3,44	1,8	6,192
Bujes nylon 6.6-30 mm.	kilogramo	0,17	15	2,55
Tuercas 3/4"	unidad	8	0,5	4
Placas	plancha	0,1	80	8
Perfil de soporte correa 150x50x15x2 mm.	6 metros	0,16	23,88	3,8208
Guía del marco tubo rectangular 2"x1"x2mm	6 metros	0,25	19,24	4,81
Guía sujetador marco aluminio (fundición)	kilogramo	2,4	10	24
Sujetador marco aluminio (fundición)	kilogramo	3	10	30
Perno allen 5/16"x1"	unidad	19	0,375	7,125
Piñón acero SAE 1018	diente	30	1	30
Cremallera acero SAE 1018	diente	90	1	90
Motor CC - 24 V	unidad	1	80	80
SUBTOTAL				299,7403

**TABLA 6.12. COSTOS DEL DISPOSITIVO DESPLAZAMIENTO VERTICAL.**

Dispositivo desplazamiento vertical	Unidad	Cantidad	Precio unit. (\$)	Total (\$)
Ejes acero SAE 1018-2"	kilogramo	32	2	64
Camisas acero barra perforada 80x65 mm.	kilogramo	5	3,7	18,5
Bujes nylon 6.6-65 mm.	kilogramo	1,52	12	18,24
SUBTOTAL				100,74

**TABLA 6.13. COSTOS DEL SISTEMA ELEVACIÓN MESA.**

Sistema elevación mesa	Unidad	Cantidad	Precio unit. (\$)	Total (\$)
Cadena de elevación	metro	2	2,5	5
Catalina	unidad	5	1,5	7,5
Eje roscados acero SAE 1018-7/8"	metro	1	20	20
Rodamientos SKF de bolas-1"	unidad	4	2	8
Marco mesa ángulo 3/4"x2 mm.	6 metros	0,25	7	1,75
Superficie impresión acero inoxidable AISI 304	plancha	0,05	40	2
Cámara tubo cuadrado 3/4"x1.5 mm.	6 metros	0,25	5,89	1,4725
Placas	plancha	0,05	80	4
Motor paso a paso	unidad	1	25	25
SUBTOTAL				74,7225



**TABLA 6.14. COSTOS DE LA MESA PRINCIPAL.**

<b>Mesa principal</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unit. (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Angulo 2x1/8"	6 metros	1,5	11,94	17,91
Correa 150x50x15x2 mm.	6 metros	0,5	23,88	11,94
<b>SUBTOTAL</b>				<b>29,85</b>

**TABLA 6.15. COSTOS DEL SISTEMA NEUMÁTICO.**

<b>Sistema neumático</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unit. (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Electroválvula 4/2-1/8"	unidad	2	50,076	100,152
Electroválvula 5/2-1/4"	unidad	1	64,15	64,15
Electroválvula 3/2-1/4"	unidad	1	41,1	41,1
Regulador velocidad tipo banjo 4 mmxM5	unidad	2	3,672	7,344
Regulador velocidad tipo banjo 6 mmx1/4"	unidad	2	4,59	9,18
Conector recto instantáneo 4 mmx1/8"	unidad	6	0,697	4,182
Conector recto instantáneo 6 mmx1/4"	unidad	10	0,75	7,5
Silenciador 1/8" de bronce sinterizado	unidad	4	1,35	5,4
Silenciador 1/4" de bronce sinterizado	unidad	1	1,5	1,5
Tubo de poliuretano 4 mm	metro	14	0,39	5,46
Tubo de poliuretano 6 mm	metro	7	0,468	3,276
Conector T instantáneo 6mm igual	unidad	2	1,698	3,396
Conector T instantáneo 4mm igual	unidad	1	1,43	1,43
Conector codo instantáneo 6 mmx1/4"	unidad	2	0,906	1,812
Conector codo instantáneo 4 mmxM5	unidad	2	0,888	1,776
Micro cilindro 2E-diam 16x50 mm carr.	unidad	2	27,258	54,516
Placa delantera cilindro diam. 40 mm	unidad	1	11,58	11,58
Horquilla con pasador diam. 40 mm	unidad	1	15,23	15,23
Unidad F/R/L 1/4 protección metálica	unidad	1	37,54	37,54
Bomba de vacio	unidad	1	95,5	95,5
Conector recto instantáneo 6 mmx1/8"	unidad	1	0,73	0,73
Conector recto instantáneo 6 mmx3/8"	unidad	2	0,84	1,68
Cilindro 2E-2A diam 40x270 mm carr 175Psi	unidad	1	73,44	73,44
<b>SUBTOTAL</b>				<b>547,874</b>

**TABLA 6.16. COSTOS DEL TABLERO DE CONTROL.**

<b>Tablero de control</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unit. (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Caja de tablero	unidad	1	5	5

Pulsadores	unidad	16	0,5	8
Baquelita	unidad	1	1	1
LCD	unidad	1	10	10
SUBTOTAL				24

TABLA 6.17. COSTOS DEL SISTEMA DE CONTROL.

Sistema de control	Unidad	Cantidad	Precio unit. (\$)	Total (\$)
Transformador	unidad	1	15	15
Micro controlador M 8	unidad	1	6	6
Micro controlador M 16	unidad	1	9	9
Puente rectificador	unidad	2	2,5	5
Condensadores	unidad	5	1	5
Regulador	unidad	1	0,7	0,7
Opto-acoplador	unidad	10	2,5	25
Resistencias	unidad	25	0,04	1
Triacs	unidad	4	1	4
Transistores	unidad	6	1	6
Baquelita	unidad	1	3	3
Sensores magnéticos	unidad	4	3	12
SUBTOTAL				79,7

TABLA 6.18. MANO DE OBRA.

Descripción	Horas - Hombre	Sal. Real/Hora	Subtotal(\$)
Fresador	84	2,79	234,40
Torneador	20	2,63	52,50
Taladrador	11	1,96	21,60
Soldador	42	2,79	117,20
Cortador	1	1,62	1,62
Doblador	3	1,80	5,40
Rectificador	4	2,70	10,80
Eléctrico	8	2,70	21,60
TOTAL			472,32

**TABLA 6.19. MÁQUINAS HERRAMIENTAS.**

Descripción	Hora - Equipo	Costa/Hora	Subtotal
Fresa	84	1,54	129,60
Torno	20	1,35	27,00
Taladrado	11	1,31	14,40
Soldadora eléctrica	42	1,54	64,80
Cizalla	1	1,08	1,08
Dobladora	3	1,20	3,60
Rectificadora	8	0,90	7,20
Varios (martillo, machuelo, etc.)	-	-	81,90
<b>TOTAL</b>			<b>329,58</b>

## 7.2. COSTOS INDIRECTOS.

Costo ingenieril (10%) = 231,10 Dólares.

Utilidad (0%); la utilidad es de cero por ciento, ya que es un trabajo de tesis.

## 7.3. COSTOS DE PRODUCCIÓN.

Los costos de producción equivalen a la suma de los costos directos más los indirectos. Dando un resultado total de: \$ 2 269,30 (dos mil doscientos sesenta y nueve dólares, con treinta centavos). El costo de producción es el costo invertido en la construcción de la maquina, y desde este punto, se convierte en una inversión, para poner a trabajar un taller de serigrafía, en el cual se necesitará a parte de la impresora, un operador, local de funcionamiento, energía eléctrica, materia prima y materiales varios. Para verificar la rentabilidad de la impresora, se hace un análisis en el cual se calculará tanto el TIR, como el punto de equilibrio, para justificar la inversión en la construcción de la impresora de serigrafía.

#### 7.4. ANÁLISIS DE COSTOS.

Para un correcto análisis de viabilidad de la impresora, en el momento que entre a producir, se tomaron datos necesarios, basados en costos actuales de producción y costos en el mercado de la serigrafía, como por ejemplo, consumo de energía, producción diaria, costo unitario, costo por materia prima. etc.

Considerando que el costo del Kw-h de energía eléctrica esta por los 0,12 USD para la sección industrial tenemos:

**TABLA 6.20. CONSUMO DE ENERGÍA.**

ELEMENTO	HORAS/ DÍA	POTENCIA (KW)	FACTURACIÓN (\$)
Lámpara	2	0,05	0,01
Impresora	8	0,25	0,24
Compresor	7	1	0,84
<b>TOTAL</b>			<b>1,09</b>

Costo mensual 30,58 Dólares.

Por la contratación de mano de obra se prevé, la necesidad de una persona que opere la impresora de Serigrafía, previo un entrenamiento, el operador debe tener conocimientos básicos tanto de serigrafía como en operación de maquinas. Según tablas se consideró un RBU de 450 DOLARES AMERICANOS mensuales.

RBU: 500 Dólares mensuales.

El local en el que se desarrolla esta actividad es de 100 m<sup>2</sup> y cuesta, alrededor de 800 Dólares.

También se considera una amortización del capital invertido en la maquina y en su puesta en marcha. Esta amortización se determinó con un préstamo de 2500

dólares a un 17 % anual, y su valor es 121 dólares mensuales por dos años.

## INGRESOS.

Los ingresos que se pueden obtener, están basados en datos económicos reales que tiene un artesano que se dedica a la serigrafía, en la actualidad.

Los datos obtenidos son diversos, ya que dependen de muchos factores, como son: tamaño del gráfico, calidad, número de colores empleados, entre otros. Los datos utilizados como referencia son los más frecuentes.

De las pruebas se obtuvo que: cada impresión demora alrededor de 10 segundos.

De la experiencia de artesanos dedicados a la serigrafía se obtiene, que por un contrato de 1000 impresiones, se cobra 0,06 Dólares por unidad, de lo cual se gasta en materia prima alrededor de 0,02 Dólares por unidad.

Por lo tanto:

N° Impresiones por hora	horas de trabajo por día	Ingresos por impresión	Ingresos por día	Ingreso por mes
360	8	0,06	172,8	3456

Costos por materia prima = 1152 Dólares.

VALOR ACTUAL DE LA INVERSION	
Instalación	130,00
Maquina	2 269,30
Otros	98,00
<b>TOTAL P</b>	<b>2497,3</b>

## RESULTADOS TOTALES

Capital Inicial (\$)	Ingresos Totales mensuales (\$)	Egresos Totales mensuales (\$)
2497,3	3456	2603,58

### CALCULO DEL TIR

$$VAN = P_{INGRESOS} - P_{EGRESOS}$$

Para  $i = 30\%$

$$VAN = 3456(P/A, i, n) - [2497,3 + 2603,58 (P/A, i, n)]$$

$$VAN = 338,87$$

Para  $i = 35\%$

$$VAN = -63,64$$

### ANALISIS DEL TIR

$$TIR = i\% + \frac{VAN(+)}{|VAN(+)| + |VAN(-)|} \times \Delta\%$$

$$TIR = 30\% + \frac{338,87}{338,87 + 63,64} \times 5\%$$

$$TIR = 34,2\%$$

De acuerdo a las reglas de decisión para el TIR, significa que tiene una buena rentabilidad.

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y PUNTO DE EQUILIBRIO

**TABLA 6.21. COSTOS FIJOS MENSUALES**

COSTOS FIJOS	
Amortización del crédito	\$ 121,00
Mano de obra indirecta	\$ 500,00
Arriendo	\$ 800,00
Teléfono	\$ 50,00
Agua potable	\$ 40,00
Energía eléctrica	\$ 30,58
TOTAL	\$ 1541,58

**TABLA 6.22. COSTOS VARIABLES MENSUALES**

<b>COSTOS VARIABLES</b>	
Materia prima	\$ 1152,8
Lubricación	\$ 10,0
Otros	\$ 30,0
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1192,80</b>

<b>Costo total por lote</b>	<b>\$ 2734,38</b>
-----------------------------	-------------------

**COSTOS MARGINALES**

<b>PRODUCTO</b>	<b>Producción semanal</b>	<b>Producción Mensual</b>	<b>Precio de Venta</b>	<b>Ingreso mensual</b>
Impresión A4	14400	57600	0,06	3456

El factor de impuesto es 1: [18]

**Determinación del costo fijo del lote [18]:**

Costo Fijo	\$ 1541,58
Costo Variable	\$ 1192,80
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 2734,38</b>

Costo fijo del lote = 1541,58

Determinación del costo fijo unitario:

$$\text{Costo fijo unitario} = \frac{\text{Costo fijo del lote}}{\text{Producción}}$$

$$\text{Costo fijo unitario} = \frac{1541,58}{57600} = 0,026 \text{ dólares.}$$

Determinación del costo variable del lote:

Costo variable del lote = Factor de impuesto\*Costo Variable

Costo variable del lote = 1192,80 Dólares

Determinación del costo variable unitario:

$$\text{Costo variable unitario} = \frac{\text{Costo variable del lote}}{\text{Producción}}$$

$$\text{Costo variable unitario} = \frac{1192,80}{57600} = 0,0207 \text{ dólares.}$$

### CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO [18].

#### COSTOS

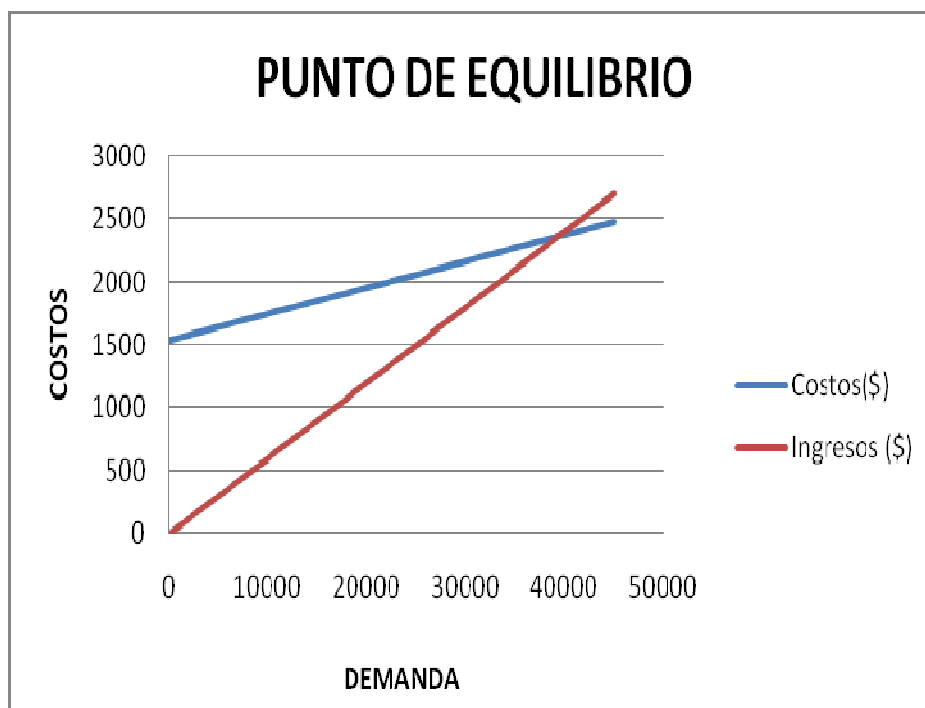
$$CT = CF + VD$$

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Fijo Lote} + \text{Costo Variable Unitario} * \text{Demanda}$$

#### INGRESOS

$$I = P.D$$

$$\text{Ingreso} = \text{Precio} * \text{Demanda}$$



**Figura 6.2. Punto de equilibrio.**



**TABLA 6.23. DEMANDA.**

<b>Demanda (U)</b>	<b>Costos(\$)</b>	<b>Ingresos (\$)</b>
0	1541,58	0
30000	2162,58	1800
31000	2183,28	1860
32000	2203,98	1920
33000	2224,68	1980
34000	2245,38	2040
35000	2266,08	2100
36000	2286,78	2160
37000	2307,48	2220
38000	2328,18	2280
39000	2348,88	2340
40000	2369,58	2400
41000	2390,28	2460
42000	2410,98	2520
43000	2431,68	2580
44000	2452,38	2640
45000	2473,08	2700

Como se puede observar en el gráfico, los resultados indican que el punto de equilibrio para la producción deberá ser de 39000 impresiones por mes, para cubrir todos los gastos invertidos en dicha producción, como la producción estimada de la máquina es de 57600 impresiones mensuales, puede decirse que la maquina es rentable, de aquí se resume que si los ingresos mensuales normales son de 3456 dólares y lo egresos son de 2603,58 dólares, tomando en cuenta una ganancia de 0,04 dólares por cada impresión, la ganancia neta será de 852,42 dólares al mes.

## **CAPÍTULO VIII**

### **8. PRUEBAS Y RESULTADOS.**

#### **8.1. PLAN DE PRUEBAS.**

Las pruebas que fueron necesarias realizar con la impresora de serigrafía son las siguientes:

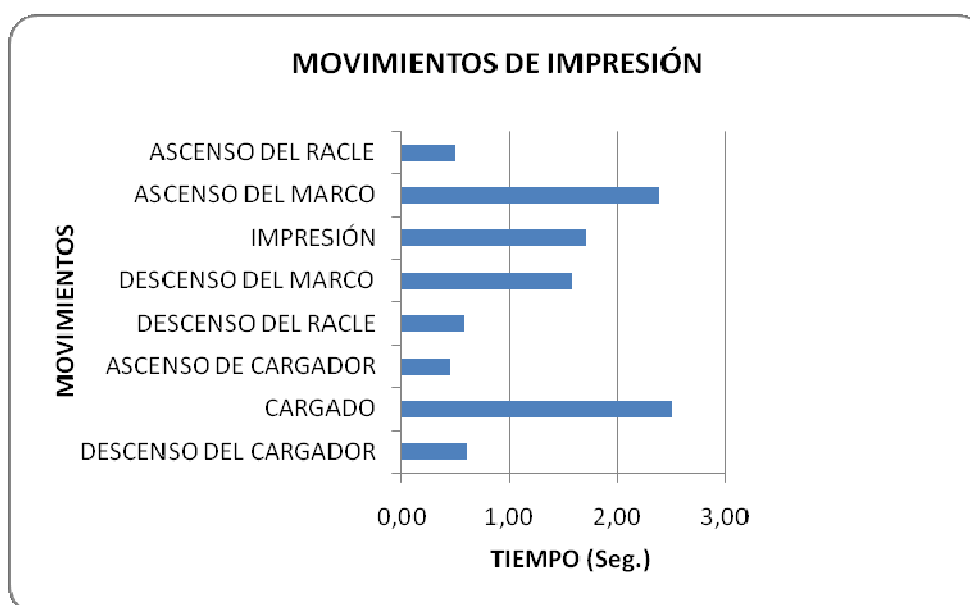
- Tiempos y movimientos de la impresora.
- Tiempos de programación versus tiempo de impresión.
- Cantidad de tinta versus número de impresiones.
- Pruebas cualitativas de impresión sobre distintas superficies.

##### **8.1.1 TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DE LA IMPRESORA.**

Fue necesario tomar datos de los tiempos que la impresora demora en la ejecución de cada movimiento, para lo cual se tabuló los cuatro tiempos que forman el ciclo.

**TABLA 7.1. MOVIMIENTOS DE IMPRESIÓN.**

<b>Movimientos</b>	<b>Tiempos (seg)</b>
Descenso del cargador	0,60
Cargado	2,50
Ascenso de cargador	0,45
Descenso del racle	0,58
Descenso del marco	1,58
Impresión	1,70
Ascenso del marco	2,40
Ascenso del racle	0,50
Total	9,81

**Figura 7.1. Gráfica de movimientos Vs tiempo.**

Como se puede apreciar en la Fig. 7.1, el mayor tiempo está en el cargado. En la impresión artesanal el tiempo también es el mayor de todos, debido a que se necesita uniformizar la tinta sobre la seda. Por lo contrario, el menor tiempo está en el ascenso del cargador, debido a que la carrera del cilindro es corta y el peso del cargador es bajo.

El tiempo de descenso del *racle* y el *cargador* fueron disminuidos por medio de los estrangulamientos neumáticos. La reducción se la hizo pensando en que una velocidad muy elevada podría dañar la seda en el tamiz

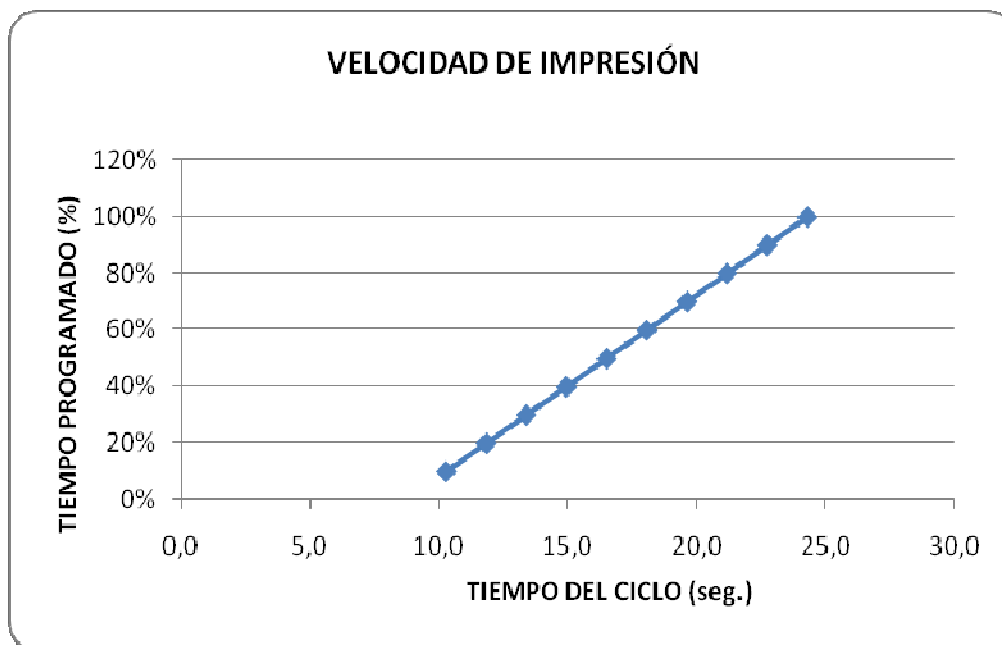
La suma de todos estos tiempos representa un ciclo de impresión, ó, la impresión por unidad.

### 8.1.2 TIEMPOS DE PROGRAMACIÓN VERSUS TIEMPOS DE IMPRESIÓN.

**TABLA 7.2. TABLA DE TIEMPOS DE IMPRESIÓN.**

TIEMPO DEL CICLO (seg)	TIEMPOS PROGRAMACIÓN (%)
10,3	10
11,9	20
13,4	30
15,0	40
16,5	50
18,1	60
19,6	70
21,2	80
22,8	90
24,3	100

En el panel de control (bloque de producción), se encuentra una opción para variar la velocidad de ejecución del ciclo de impresión. La velocidad varía de menor a mayor, en porcentaje del 10% a 100% respectivamente. Esta variación de tiempo no afecta a la ejecución de cada movimiento, afecta al tiempo que hay entre un movimiento y el siguiente (tiempos muertos).



**Figura 7.2. Velocidad de impresión**

### 8.1.3 CANTIDAD DE TINTA VERSUS NÚMERO DE IMPRESIONES.

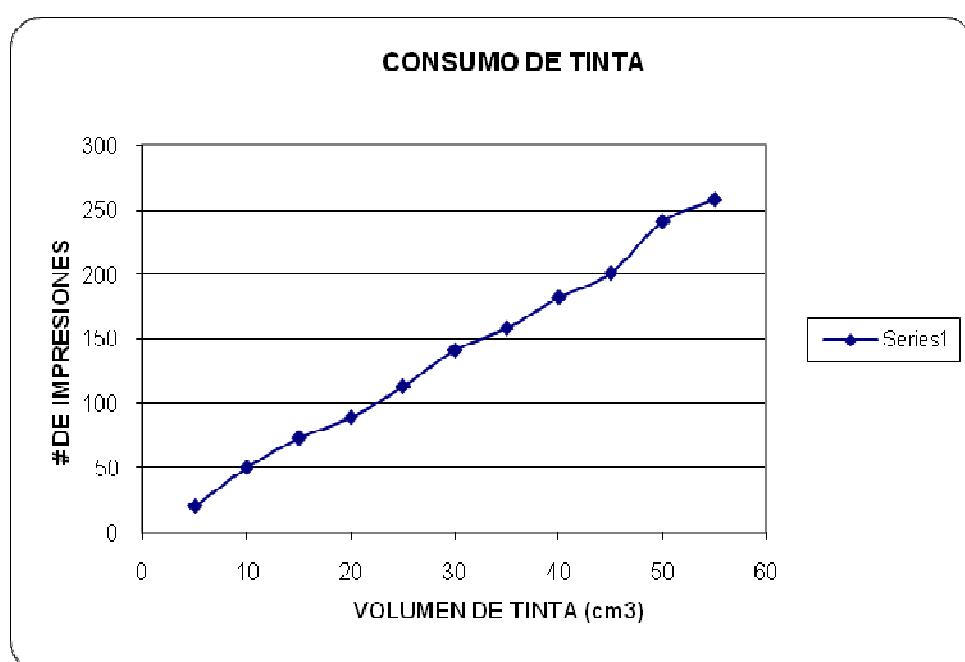
Se realiza la prueba considerando el tipo de tinta. En nuestro caso, las pruebas se hicieron con la tinta denominada PVC, ya que su uso es el más frecuente en serigrafía. La elección de la tinta está en dependencia con la calidad de la impresión, el tipo de malla utilizado para el tamiz y el tipo de superficie sobre la que se imprimirá el dibujo.

Se realiza la prueba considerando un área de impresión promedio, tomando los datos del número de impresiones realizadas con un volumen determinado de tinta.

En general el volumen de tinta utilizado varía significativamente dependiendo de las dimensiones del dibujo y de la calidad del tamiz.

**TABLA 7.3. CONSUMO DE TINTA.**

<b>Volumen de tinta(cm3)</b>	<b>Número impresiones</b>
5	20
10	50
15	73
20	89
25	113
30	141
35	158
40	182
45	201
50	241
55	258

**Figura 7.3. Consumo de tinta.**

Como se puede apreciar en la Fig. 7.3, el consumo de tinta tiende a ser lineal, esto es lógico, pues, cada impresión debe recibir la misma cantidad de tinta.

#### **8.1.4 PRUEBAS CUALITATIVAS DE IMPRESIÓN SOBRE DISTINTAS SUPERFICIES.**

Están basadas en la calidad de impresión observadas sobre papel (superficie de poco espesor), vidrio, plástico y madera, obteniendo una calidad visual aceptable, evaluable mediante la observación directa del producto obtenido.

Mediante una modificación en el ciclo de impresión la máquina puede ser utilizada en superficies curvas. Para evaluar ésta adaptación, se considera que los gráficos generalmente se los realiza en esferográficos, vasos, y productos similares, requiriendo áreas de impresiones pequeñas y en un solo color. En las pruebas realizadas se obtuvo una calidad visual aceptable.

Las pruebas realizadas dieron excelentes resultados, pero cabe indicar que estos resultados, se obtuvieron gracias a una correcta calibración de la impresora antes de empezar la producción, al uso adecuado de tinta, y la alimentación uniforme de la tinta a lo largo del cargador. En este último punto, se pueden dar muchas observaciones, como por ejemplo, que si se acumula tinta en el centro del cargador, sin distribuirla como es correcto, después de algunas impresiones se nota que en los extremos, comienza a opacarse el grafico, disminuyendo su calidad, y consecuentemente produciendo un descontento en el cliente.

Por otro lado, si la alimentación de la tinta es un poco excesiva, da como resultado, un pequeño goteo de tinta, que termina manchando la superficie sobre la cual se imprime.

También se debe mencionar que la distancia entre la malla o seda y la superficie sobre la cual se va a imprimir, sea la adecuada, porque en las pruebas realizadas se determinó que si la separación es excesiva, el dibujo impreso sale con partes no impresas. Por lo contrario si la distancia es muy corta, la presión excesiva del racle, disminuye la velocidad de barrido, y se observa un ligero manchado alrededor del dibujo.



## CAPÍTULO IX

### 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1. CONCLUSIONES.

- La impresora de serigrafía reproduce los movimientos básicos utilizados en la impresión manual, efectuando variaciones en los elementos utilizados. Una innovación importante realizada fue la utilización de un segundo elemento para la distribución de la tinta (cargador). En el proceso artesanal, el *racle* es utilizado para cargar e imprimir. La ventaja más sobresaliente de utilizar el cargador reside en el manejo adecuado de la tinta.
- La máquina imprime sobre superficies planas de espesor variable. El espesor a imprimir va desde el papel más delgado hasta un cuerpo con un espesor máximo de 15 cm. La variación en el espesor no afecta en la calidad de la impresión.
- Al realizar la calibración del equipo para imprimir sobre papel (objetos de poco espesor). El área de impresión debe ser ubicada en el centro de la

mesa, debido a que en tal posición se tiene un mayor efecto de succión. Esto resulta en una adherencia adecuada del formato en la mesa. El formato adecuado para utilizar la succión, es un A4. Para imprimir en otras superficies como: llaveros y elementos con volumen, es necesario utilizar un pegante líquido, utilizado en la serigrafía artesanal. Al momento de utilizar el pegante líquido, se deberá apagar la succión, de esta forma se disminuye el consumo de aire.

- La calidad y definición de la impresión depende específicamente de la calidad de tinta, la calidad del tamiz, el tipo de superficie que recibe la impresión y la calibración de la máquina, antes de empezar el proceso continuo de impresión.
- La utilización de un sistema neumático para realizar la automatización de la impresora resulta conveniente al obtener por medio de los actuadores, movimientos rápidos y continuos. Además, con tamaños prudentes de los cilindros se obtienen fuerzas de salida elevadas, lo cual resulta conveniente para el montaje de la máquina.
- El obstáculo mas grande que se tuvo que vencer en la construcción de la impresora, fue la implementación del mecanismo piñón cremallera. Ya que no se lograba conseguir un motor adecuado de bajo peso y de cómodas dimensiones que proporcione un gran torque de arranque. Al final se concluyó que tendría que ser un motor de CC. Y el único motor de estas

características se encuentra en las plumas de los vehículos, con lo que en las pruebas realizadas, este motor superó las expectativas.

- El proceso de construcción requiere la mayor precisión en la elaboración de los elementos. La acumulación de errores causa una descoordinación entre el dispositivo de impresión y cargado de la tinta con la mesa de impresión, lo cual se verá reflejado en la calidad de la impresión.
- Mediante la supresión de un movimiento (posicionamiento del tamiz), en el ciclo de impresión, se puede realizar la calibración del equipo y emplearlo en la impresión de superficies curvas, obteniendo una calidad y definición aceptable.
- En las pruebas realizadas, se tuvo que vencer muchos obstáculos, como la inexperiencia con trabajos de serigrafía, esto llevó a la realización de pruebas no comunes, por ejemplo al uso de tintas diferentes a las comúnmente usadas en serigrafía. Como resultado se tuvo una pésima calidad en la impresión, y dificultades al momento de realizar la limpieza del tamiz.
- Un factor muy importante en las experiencias obtenidas, fue la nivelación correcta entre la mesa de impresión y el recorrido del marco. Ya que en un principio las pruebas daban resultados bastante deficientes, y se descubrió que aquellos malos resultados eran provocados por esta nivelación defectuosa. Al momento de corregir esta deficiencia se observó que

dependía de muchas variables como: el paralelismo de los ejes roscados, el empotramiento de los ejes guías, la calibración del racle entre otros, y la forma de corregir esta deficiencia fue con paciencia y perseverancia.

- Al realizar las pruebas se descubrió que la implementación del cargador, beneficiaba mucho en el manejo de la tinta, como se tenía previsto, concluyendo, que para que este elemento tenga una buena eficiencia de trabajo, se tiene que disponer de una cantidad de tinta aceptable y de una calibración muy minuciosa, antes de empezar la producción.
- La utilización del software de diseño (SolidWork, CosmosMotion, AutoCAD), en el diseño de la máquina, es una valiosa ayuda. Permite comprender de mejor manera una alternativa planteada para la solución de un problema; permite mayor comprensión de las situaciones que se pueden presentar; además, la simulación de los movimientos permite tener una visión clara y directa de la situación. Como consecuencia se obtiene ahorro de tiempo y dinero en la construcción de una máquina.

## **9.2. RECOMENDACIONES**

- La cantidad de tinta necesaria para realizar un determinado número de impresiones se coloca en el tamiz de forma manual. Se recomienda para futuras investigaciones estudiar la posibilidad de implementar un dispositivo

de alimentación de tinta, con el cual se optimizaría significativamente el proceso de impresión.

- El retiro del impreso y la colocación de un nuevo objeto a imprimir se realiza de forma manual por lo que queda abierta la posibilidad de investigar, la implementación de un sistema de transporte que sustituya la intervención del operario.
- La impresora esta limitada a imprimir un solo color durante cada proceso, y si se desea imprimir más de un color se tiene que esperar que termine un proceso, para poder continuar con el otro proceso en el cual interviene un color diferente. Una recomendación para poder imprimir varios colores con mayor rapidez, sería, el aumentar una segunda o tercera etapa de impresión, cada etapa imprimiría un color diferente, por lo cual podríamos optimizar mucho el tiempo en el proceso de impresión de varios colores.
- La utilización del mecanismo piñón – cremallera cumple con los requerimientos para realizar impresiones de buena calidad. Se obtiene un desplazamiento adecuado del racle, pero se sugiere un estudio posterior para analizar la factibilidad de realizar éste movimiento por medio de un cilindro neumático sin vástago, y conseguir un movimiento más limpio.
- La adaptación de la máquina para imprimir sobre superficies curvas requiere habilidad y práctica para su ejecución. Se propone, para posteriores investigaciones, analizar la posibilidad de implementar un

mecanismo que permita realizar éste tipo de impresiones con mayor exactitud, y utilizando más colores.

- Con respecto a la seguridad, la impresora, como cualquier máquina industrial esta propensa a provocar un accidente, este accidente podría ser provocado, en caso que el operario, no pudiera retirar a tiempo las manos de la mesa de impresión, por lo que este podría resultar lesionado. Para prevenir este incidente se recomiendan algunas medidas de seguridad como son: la instalación de sensores que me permitan tener seguridad mientras el operario se encuentra cambiando la hoja. Otra opción es poner un pedal de seguridad que me permita bloquear el descenso de la soporte de impresión, cuando el operario tenga las manos sobre la mesa.
- Una recomendación muy importante, para mejorar la estética de la impresora podría ser, el poner una cubierta, en todo el soporte de impresión, para lo cual se podría pensar en un material plástico, el cual tiene algunas ventajas como, bajo peso, resistencia a la oxidación y buena presentación.
- Al realizar la limpieza de la impresora es importante no manipular las válvulas reguladoras de caudal colocadas en los cilindros, pues se encuentran calibradas de acuerdo a la velocidad más adecuada.